SISTEM KONTROL ELEKTRO PNEUMATIK 1

I. PENGANTAR SEPUTAR BUKU BAHAN AJAR

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan. Keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Sistem Kontrol Elektropneumatik ini merupakan salah satu referensi yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada paket keahlian Teknik Otomasi Industri yang diberikan pada kelas XI.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam kurikulum 2013, siswa ditugaskan untuk mengeksplorasi ilmu pengetahuan dari berbagai sumber belajar yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang relevan bersumber dari lingkungan sosial alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan kurikulum 2013. Buku ini merupakan “dokumen hidup" yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai aturan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol elektropnumatik 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol elektropnumatik
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol elektropnumatik. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdalam melakukan tugas di bidang kontrol elektropnumatik. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang kontrol elektropnumatik.
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menggunakan udara kempa untuk keperluan kontrol elektropnumatik 3.2. Menjelaskan operasional system pnumatik 3.3. Mendeskripsikan berbagai elemen masukan dan sensor pneumatik 3.4. Mendeskripsikan berbagai jenis katub pengarah pnumatic 3.5. Menjelaskan berbagai aktuator pneumatic 3.6. Menganalisis fungsi dan diagram alir rangkaian control pnumatik 3.7. Menentukan jenis, spesifikasi dan kuantitas komponen pnumatik yang dibutuhkan system control 3.8. Mendeskripsikan hubungan antar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
	komponen pada lay-out rangkaian control pnumatik 3.9. Menginterpretasi gambar kerja kontrol pnumatik 3.10. Mendeskripsikan unjuk kerja peralatan system control pnumatik 3.11. Menjelaskan operasional system elektropnumatik 3.12. Mendeskripsikan berbagai elemen masukan dan sensor elektropneumatik 3.13. Menjelaskan berbagai jenis katub pengarah *elektropnumatic* 3.14. Mendeskripsikan berbagai aktuator elektropneumatic 3.15. Menganalisis fungsi dan diagram alir rangkaian control elektropnumatik 3.16. Mendeskripsikan jenis, spesifikasi dan kuantitas komponen elektropnumatik yang dibutuhkan system control 3.17. Menganalisis hubungan antar komponen pada lay-out rangkaian control elektropnumatik 3.18. Menginterpretasi gambar kerja kontrol elektropnumatik 3.19. Mendeskripsikan unjuk kerja peralatan system control elektropnumatik
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.1. Menyiapkan udara kempa untuk keperluan kontrol elektropnumatik 4.2. Menggunakan system operasional pnumatik dan aliran sinyal 4.3. Menggunakan berbagai elemen masukan dan sensor pnumatik 4.4. Menggunakan berbagai jenis katub pengarah pneumatic 4.5. Menggunakan berbagai aktuator pneumatic 4.6. Merancang sequence operasional system control pnumatik 4.7. Memilih komponen kendali pnumatik yang akan dirakit 4.8. Me-lay out komponen dan system control pnumatik 4.9. Merakit sistem kontrol pnumatik 4.10. Menguji kondisi dan unjuk kerja peralatan

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
	kendali pnumatik 4.11. Mengidentifikasi system operasional elektropnumatik dan aliran sinyal 4.12. Menggunakan berbagai elemen masukan dan sensor elektropnumatik 4.13. Menggunakan berbagai jenis katub pengarah elektropneumatic 4.14. Menggunakan berbagai aktuator elektropneumatic 4.15. Merancang sequence operasional system control elektropnumatik 4.16. Memilih komponen kendali elektropnumatik yang akan dirakit 4.17. Me-lay out komponen dan system control elektropnumatik 4.18. Merakit sistem kontrol elektropnumatik 4.19. Menguji kondisi dan unjuk kerja peralatan kendali elektropnumatik

C. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (saintifik). Langkah-lngkah pendekatan ilmiah *(scientific approach*) dalam proses pembelajaran yang meliputi: penggalian informasi melalui pengamatan, bertanya, melakukan percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sistem kontrol elektropneumatik. Langkah awal untuk mempelajari materi ini adalah dengan melakukan pengamatan (*observasi*). Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang aktif, kreatif, inovatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai

pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati.

Dengan keterampilan ini, kalian dapat mengetahui bagaimana mengumpulkan fakta dan menghubungkan fakta-fakta untuk membuat suatu penafsiran atau kesimpulan. Keterampilan ini juga merupakan keterampilan belajar sepanjang hayat yang dapat digunakan, bukan saja untuk mempelajari berbagai macam ilmu, tetapi juga dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Pengamatan

Melibatkan pancaindra, menggunakan penglihatan untuk membaca fenomena (visual), pendengaran untuk merekam suatu informasi (audio), termasuk melakukan pengukuran dengan alat ukur yang sesuai. Pengamatan dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi.

Membuat Inferensi

Merumuskan Penjelasan berdasarkan pengamatan. Penjelasan ini digunakan untuk menemukan pola-pola atau hubungan-hubungan antar aspek yang diamati, serta membuat prediksi atau kesimpulan.

Mengkomunikasikan

Mengkomunikasikan hasil penyelidikan baik lisan maupun tulisan. Hal yang dikomunikasikan termasuk data yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, bagan, dan gambar yang relevan.

Buku bahan ajar “Sistem Kontrol Elektropneumatik” ini, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas XI, semester ganjil, mencakupi kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.19 dan 4.19., yang terbagi menjadi lima (5) kegiatan belajar, yaitu : Pengenalan Sistem Pneumatik, Operasi Sistem kontrol pneumatik, Merakit dan memelihara sistem pneumatik, Sistem Kontrol Elektropneumatik, Aplikasi Kontrol Elektropneumatik

II. PEMBELAJARAN

1. Kegiatan Belajar 1: Pengenalan Sistem Pneumatik

Indikator Keberhasilan:

Setelah menyelesaikan kegiatan belajar ini, diharapkan siswa mampu:

- Menjelaskan istilah pneumatic automation
- Menjelaskan hukum-hukum fisika tentang karakteristik dan dinamika udara kempa.
- Menggunakan udara kempa untuk keperluan kontrol pneumatik

1.1 Otomasi dengan Pneumatik

Dewasa ini, evolusi teknologi kontrol telah mencapai satu titik di mana hampir semua proses dan manufaktur di industri merupakan kombinasi dari aplikasi berbagai subsistem seperti *pneumatics, mechanics, electrics, computer, control dan information technology*. Disain mesin-mesin dan peralatan produksi modern dapat dikatakan sebagai suatu *mechanical construction* dengan menggunakan *pneumatics/hydraulic/electric actuator* &*motor* sebagai penggeraknya dan PLC sebagai *main controller*–nya*.* Didukung dengan berbagai komponen lain yang berfungsi sebagai *internal interface*dan *operator interface*. Misalnya *solenoid, switch, sensor, relay,* &*encoder* untuk *internal interface*, dan *push button*, *thumb switch*, &*potensiometer* untuk *operator interface*.

Fluida merupakan substansi yang dapat mengubah bentuk (mengikis) secara terus menerus seperti yang terjadi pada aplikasi *shear stress*, atau pada fenomena alam lainnya. Fluida dapat berbetukgasdan cair. Teknik atau cara penggunaan fluida cair padaaplikasi *power transmission* lazim disebut *hydraulic system*, sedang sistem lain yang menggunakan fluida gasuntuk aplikasi*power transmission*disebut

sistem pnumatik. Pada sistem hidrolik digunakan oli mineral sebagai fluida kerjanya, sedang pada sistem pnumatikdigunakan udara atmosfir.

Mekanisasi dan otomatisasi dalam bidang proses dan manufaktur di industri menjadikan *pneumatic automation* menjadi pilar utama dalam banyak industri, misalnya untuk keperluan *material handling, packaging, bottling, distributing, & sorting system.* Otomasi dengan pnumatikditerapkandi berbagai industri, misalnya industri makanan & minuman, farmasi, logam, pertambangan dan petrokimia.

Kemajuan teknologi di bidang otomasi dengan pnumatik tersebut menuntut tersedianya *engineering and maintenance personal* yang memiliki pengetahuan dan pengalaman praktis di bidang *mechanical, electrical, electronic and compressed air/fluid power technologies*.

Penggunaan controlpnumatik dan aktuasi menjadi semakin luas di bidang otomasi industri. Salah satu alasannya adalah, dari sekian banyak masalah otomasi industri, maka tidak ada medium yang lebih mudah didapat dan lebih ekonomis.Disamping memiliki karakteristik positif sistem kontrol pnumatik juga memiliki karakteristik negatif.

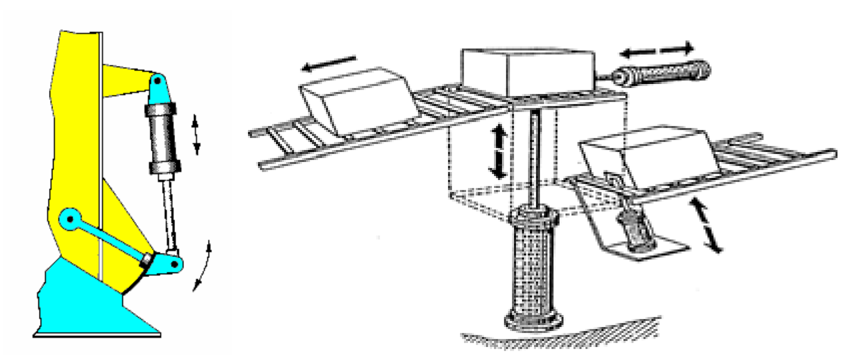
Berikut ini diberikan beberapa karakteriistik positif dari udara untuk *pneumatics automation*:

Quantity	:	Tersedia di mana saja dan tak terbatas
Transportation	:	Mudah disalurkan melalui pipa
Storage	:	Dapat disimpan di dalam tanki atau botol
Temperature	:	Udara tidak sensitif terhadap fluktuasi suhu.
Explosion-proof	:	Udara tekan tidak menyebabkan terjadinya ledakan.
Cleanliness	:	Udara tekan sangat bersih tidak menimbulkan polusi.
Construction	:	Konstruksi komponen pnumatik relatif sederhana.
Speed	:	Udara tekan merupakan working medium yang mempunyai respon cepat [1-2 m/s]

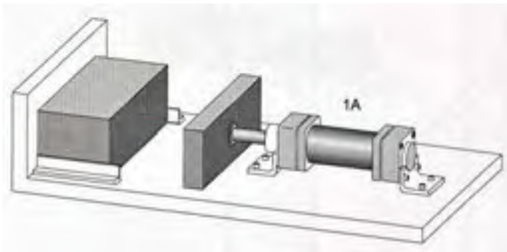
Agar diperoleh garis demarkasi yang tegas dalam aplikasi otomasi dengan pnumatik, berikut ini diberikan karakteristik negatif dari sistem pnumatik, yaitu:

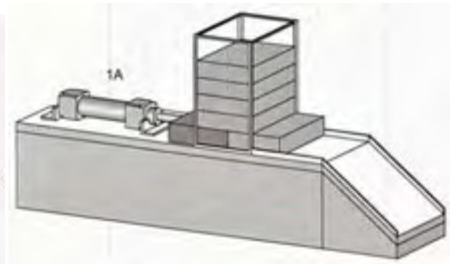
Preparation	:	Udara tekan yang digunakan sebagai fluida kerja pada sistem kontrol pnumatik harus memenuhi persyaratan teknis dan perlu dipersiapkan dengan presisi, dan memerlukan peralatan yang harganya realtif mahal. Udara tekan harus bebas dari debu dan uap air (*moisture*), karena dapat merusak komponen pneumatik.
Force	:	Udara tekan mencapai titik ekonomisnya pada tekanan 700 kPa atau 7 bar dengan daya tekan sebesar 20.000 – 30.000 N.
Exhaust air	:	*Exhaust air* sangat bising, sehingga memerlukan material yang dapat menyerap suara.
Cost	:	Udara kempa merupakan medium yang relatif mahal.

Berikut ini diberikan beberapa contoh mekanisasi yang menggunakan sistem kontrol pnumatik.

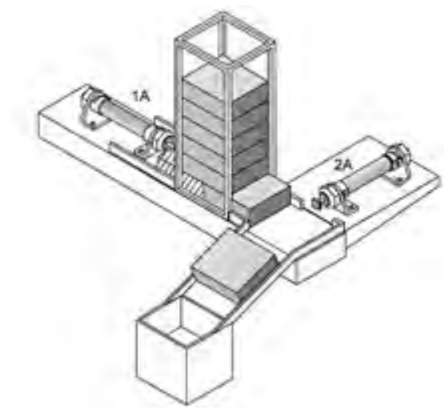


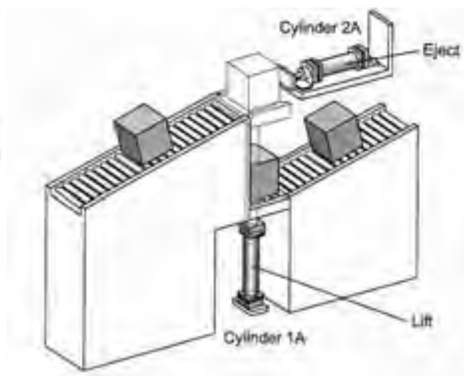
(a) (b)





(c) (d)





(e) (f)

Gambar 1.1 Aplikasi Kontrol Pnumatik

Tugas 1.1

Sekarang ini hidup kita dipermudah dengan berbagai perlatan yang serba otomatis, baik di kehidupan sehari-hari maupun di dunia industri, karena dengan dibuatnya sistem otomatis pekerjaan dibuat lebih cepat, efisien, dengan hasil yang konstan selalu baik. Pneumatik sistem, adalah salah satu part pendukung dari bagian automatic system di mesin industri, seperti untuk industri:

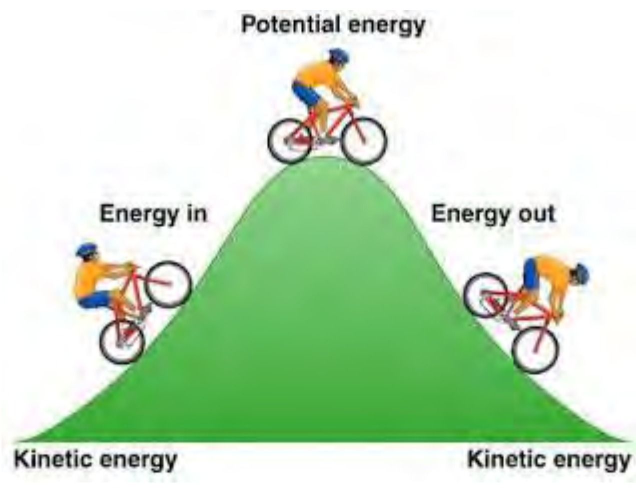
1. Mesin manufacture
2. auto manufacture
3. industri pengolahan logam
4. industri Fharmasi atau obat-obatan

5. Industri pembuatan kertas
6. Printing
7. Packaging
8. Industri makanan
9. Industri kimia
10. Industri rokok
11. Industri minuman
12. auto line production
13. Industri sepatu, dan masih banyak lagi aplikasinya

Carilah aplikasi pneumatik yang anda temui di sekitar anda dan pernah anda lihat dan bandingkan dengan aplikasi yang terdapat di industri tersebut. Amati dan berikan tanggapan. Sebagai bahan referensi anda dapat mencarinya dari berbagai sumber belajar, diantaranya browsing di internet.

Tugas 1.2

Apakah anda pernah mendengar mengenai berbagai jenis energi, diantaranya : Energi Listrik, Energi Mekanik, Energi Potensial, dan Energi Kinetik.? Jelaskan Perbedaannya berdasarkan fenomena alamiah.



Sumber : 01sumberenergi.blogspot.com/2013/05/pengertian-energi-potensial.html

Gambar 1.2. Konsep Energi

Dengan kebesaran Tuhan Yang Maha Kuasa, kita diberikan udara yang melimpah ruah di atmosfir sekitar kita, selain untuk bernafas dapat juga dimanfaatkan sebagai sumber energi. Udara tersebut dimampatkan melalui kompressor dan aliran udaranya (berupa tekanan udara) dimanfaatkan untuk mendorong/menggerakan silinder (aktuator) yang bekerja secara mekanis. Sehingga secara Fisis dapat kita katakan “Energi Udara dikonversi menjadi Energi Mekanis”. Mari kita simak beberapa teori berkaitan dengan karakteristik udara.

a. Dinamika dan Karakteristik Udara

Permukaan bumi kita diselimuti oleh udara atmosfir, yang mempunyai komposisi sebagai berikut:

- Nitrogen 78%
- Oxigen 21%

Selebihnya, terdiri dari berbagai gas, yaitu carbon dioxide, argon, hydrogen, neon, helium, krypton dan xenon. Untuk memudahkan memperoleh pemahaman terhadap hukum-hukum alam (fisika) dan unjuk kerja udara atmosfir, maka akan dibahas pula parameter-parameter fisik dan satuan-satuannya. Tabel berikut ini, untuk mengklarifikasi hubungan relasional antara *metric technical system* dan *International System*.

Basic Unit

Quantity	Formula Symbol	Unit Symbol	
		Metric Unit	SI Unit
Length	L	meter {m}	meter {m}
Mass	m	$kp.s^2 / m$	kilogram {kg}
Time	t	second {s}	second {s}
Temperature	T	degrees {^oC}	Kelvin {K}
Electric Current	I	ampere {A}	Ampere {A}

Luminuous intensity	Iv		Candela {cd}
Amount of substance	n		Mole {mol}

Derived Units

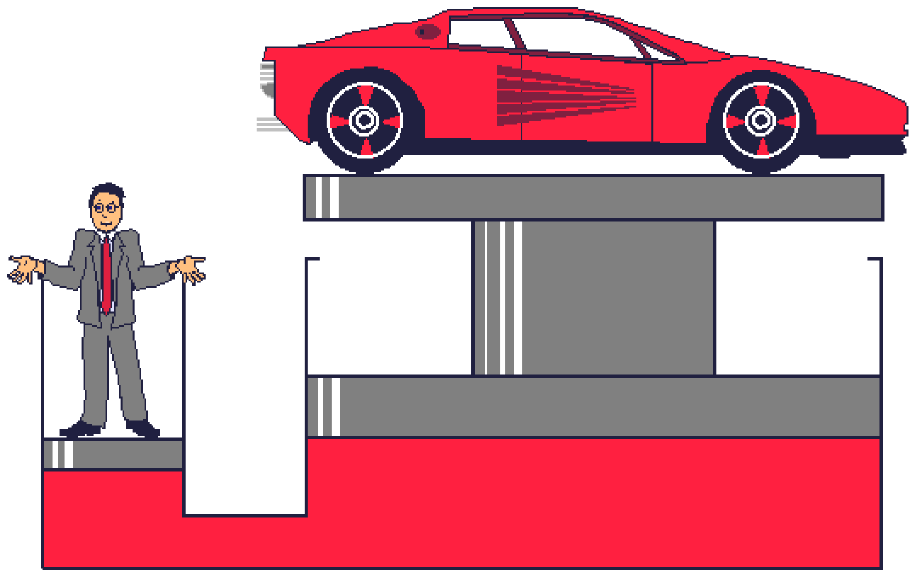
Quantity	Formula Symbol	Unit Symbol	
		Metric Unit	SI Unit
Force	F	Kilopond {kp}	Newton {N} 1N = 1kg.m / s^2
Area	A	Square meter {m^2}	Square meter {m^2}
Volume	V	Cubic meter {m^3}	Cubic meter {m^3}
Volumetric flow	V {Q}	m^3 / s	m^3 / s
Pressure	P	atmosphere {at} 1 at = 1 kp/cm^2	Pascal {PA} 1 PA = 1 N/m2 1 bar = 100 kPa 1 bar = 14.5 psi

Hukum-hukum alam yang mendasari penerapan*fluid system*untuk membangun mekanisasi dan manipulasi gerak adalah hukum. Hukum Pascal diaplikasikan pada sistem *fluid power transmission*. Hukum fisika lainnya yang digunakan untuk keperluan analisis, desaindan manufakturpada sistem fluidaadalah HukumBoyle, Mariotte, Gay Lussac dan Charles.

Tugas 1.3

Ada beberapa fenomena alamiah mengenai penggunaan energi di sekitar kita dimana dengan tenaga input yang kecil dapat menghasilkan tenaga Output yang jauh lebih besar. Diskusikan & Jelaskan secara konsep berdasarkan gambar berikut!. Hukum apa yang mendasarinya?

Kata kunci: gaya (F), tekanan (p), Luas piston (A), dan jarak angkat beban (S).



Gambar 1.3. Fenomena Gaya

a. Hukum Boyle-Mariotte

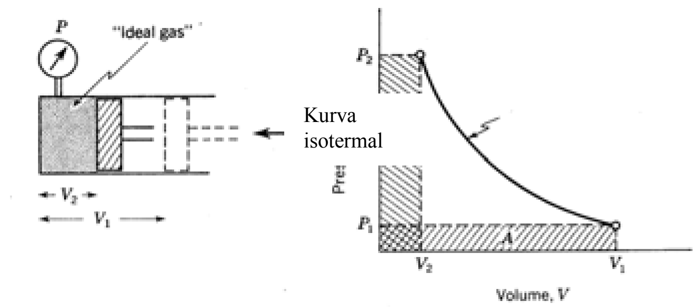
Boyle & Mariotte mengamati hubungan antara tekanan dan volume gas pada suhu konstan. Pada suhu konstan, volume masa udara berbanding terbalik dengan tekanan absolutnya . Atau dengan kata lain hasil kali tekanan absolut dan volume akan selalu konstan.

Hukum Boyle-Mariotte merupakan suatu pernyataan penting yang menyangkut sifat gas, yaitu pada suhu konstan, volume gas berbanding terbalik dengan tekanan absolutnya. Dalam formula matematika Hukum boyle menjadi seperti berikut,

$$(P_1)(V_1) = (P_2)(V_2)$$

$$(P_1)/(V_2) = (P_2)/(V_1)$$

Hukum Boyle-Mariotte ini dapat diverifikasi melalui percobaan sederhana seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.4, yaitu percobaan pemampatan gas yang berlangsung pada suhu konstan.

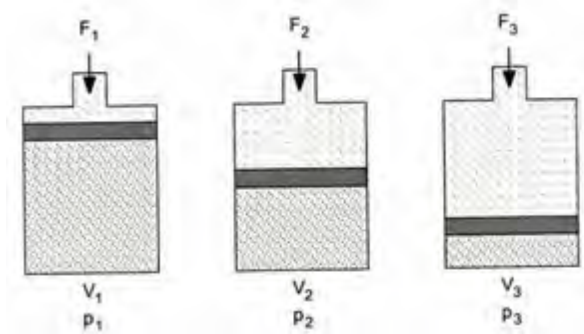


Gambar 1.4 Karakteristik Pemampatan gas

Gambar 1.2memperlihatkan gas di dalam silinder dikompresi tetapi suhu gas dipertahankan konstan. Dari kurva P-V diketahui, bahwa area yang ada di bawah kurva memiliki luas sama, yaitu:

$$(P_1)(V_1) = (P_2)(V_2).$$

$$P1 \; x \; V1 = P2 \; x \; V2 = P3 \; x \; V3 = konstan$$



Gambar 1.5 Hubungan antara volume dan tekanan pada suhu tetap

Contoh:

Jika volume udara V1 = 1 m^3 pada tekanan P1 = 100 kPa dimampatkan pada suhu konstan oleh sebuah gaya F2 pada volume V2 = 0,5 m^3. Maka tekanan udara merubah menjadi, P2 = 200 kPa.

Hitungan:

$$P_2 = \frac{P_1 \; x \; V_1}{V_2} = \frac{100x1}{0,5} = 200kPa$$

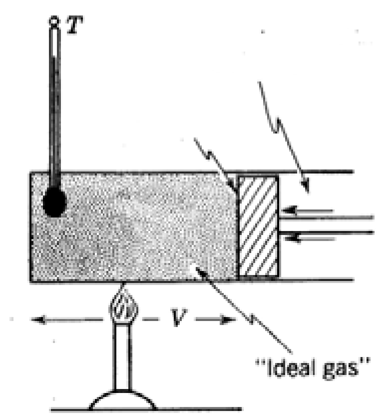
b. Hukum Charles-Gay Lussac

Hukum Charles-Gay Lussac merupakan suatu pernyataan penting yang menyangkut sifat gas, yaitu pada tekanan konstan, volume gas berbanding lurus dengan suhu absolutnya. Dalam formula matematika Hukum Charles menjadi seperti berikut,

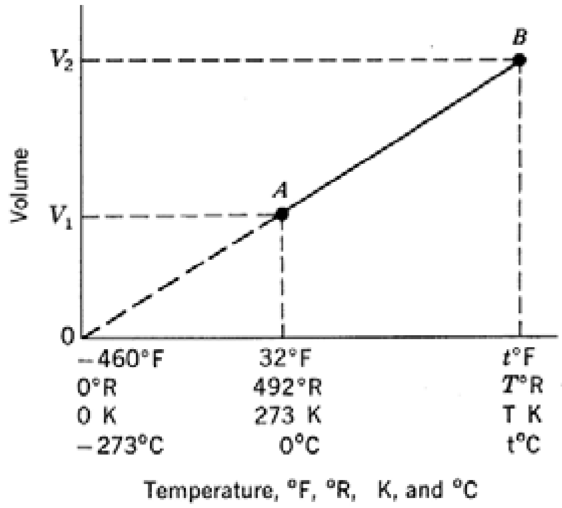
$$(V_1)(T_2) = (V_2)(T_1)$$

$$(V_1)/(V_2) = (T_1)/(T_2)$$

Hukum Charles-Gay Lussac ini dapat diverifikasi melalui percobaan sederhana seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.6, yaitu percobaan pemampatan gas yang berlangsung pada tekanan konstan.



Gambar 1.6 Udara dipampatkan pada suhu tetap



Gambar 1.7Kurva V-T. Dari kurva V-T yang merupakan garis lurus diketahui bahwa ratio dua variabel pada titik A dan titik B mempunyai nilai sama, sehingga $(V_1)/(V_2) = (T_1)/(T_2)$.

Contoh:

Udara pada suhu T_1 = 293K memiliki volume V_1 = 0,8 m^3. Dipanaskan hingga mencapai T_2 = 344K. Maka Volume udara V_2 setelah udara mengalami pengembangan menjadi V_2 = 0,94 M^3.

Hitungan:

$$V_2 = V1 + \frac{V_1}{T_1}(T_2 - T_1)$$

c. Hukum Boyle-Gay Lussac

Persamaan gas secara umum yang menyatakan hubungan perubahan tekanan dan volume terhadap perubahan suhu, dinyatakan oleh boyle & Gay Lussac sebagai berikut:

$$\frac{P_1 \, x \, V_1}{T_1} = \frac{P_2 \, x \, V_2}{T_2} = \frac{P_3 \, x \, V_3}{T_3} = \text{Konstan}$$

Pada kasus udara dengan masa tertentu, perkalian antara tekanan dan volume dibagi dengan suhu absolutnya akan selalu konstan. Dari kenyataan tersebut maka di dapat proses dinamika udara dapat terjadi sebagai berikut:

- Tekanan Tetap → Isobar berubah
- Volume Tetap → Isochore berubah
- Suhu Tetap → Isothermal berubah

Menentukan Konsumsi udara kompresi,

Spesifikasi Piston

$D = 50$ mm

$L = 500$ mm

Solusi :

Volume udara kompresi pada saat silinder bergerak maju

$$V = \pi/4 \times d^2 \times h$$

$$P_1.V = P_2 \times \pi/4 \times d^2 \times h$$

$$1 \text{ bar}.V = 6 \text{ bar} \times 0{,}786 \times (50\text{mm})^2 \times 500 \text{ mm}$$

$$V = 5.892.857{,}143 \text{ mm}^3$$

$$V = 5{,}9 \text{ dm}^3 \text{ (liter)}$$

Volume udara kompresi pada saat silinder bergerak mundur

$$V = \pi/4 \times (d^2 - d_1^2) \times h$$

$$P_1.V = P_2 \times \pi/4 \times (d^2 - d_1^2) \times h$$

$$1 \text{ bar}.V = 6 \text{ bar} \times 0{,}786 \times \{(50\text{mm})^2 - (20\text{mm})^2 \times 500 \text{ mm}$$

$$V = 4.949.999 \text{ mm}^3$$

$$V = 4{,}95 \text{ dm}^3 \text{ (liter)}$$

Jadi konsumsi udara kompresi yang dibutuhkan silinder untuk bergerak maju dan mundur adalah 5,9 lt + 4,95 lt = 10,85 lt

Pemilihan Flow Rate Katub solenoid,

Asumsikan spesifikasi Silinder sbb.

D = 50 mm

L = 500 mm

P = 6 bar

Silinder bergerak maju-mundur sebanyak 60 kali/menit

Solusi:

Konsumsi udara kompresi untuk 1 kali gerakan = 10,85 liter

Konsumsi udara kompresi untuk 60 kali gerakan per menit adalah

= 60 / menit x 10,85 liter = 651 liter / menit

Jadi pilih katub dengan flow rate = 651 liter / menit

Tugas 1.4

Prinsip pemuaian zat banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya:

Keping Bimetal

Keping bimetal adalah dua buah keping logam yang memiliki koefisien muai panjang berbeda yang dikeling menjadi satu. Keping bimetal sangat peka terhadap perubahan suhu. Pada suhu normal panjang keping bimetal akan sama dan kedua keping pada posisi lurus. Jika suhu naik kedua keping akan mengalami pemuaian dengan pertambahan panjang yang berbeda. Akibatnya keping bimetal akan membengkok ke arah logam yang mempunyai koefisien muai panjang yang kecil.

Apa manfaat dan penggunaan dari fenomena tersebut dalam bidang kelistrikan?

1.2 Penyiapan dan distribusi Udara Kempa

Penyaluran udara kempa untuk keperluan sistem pnumatik harus diperhitungkan secara cermat dan dipelihara dalam kualitas prima. Dalam prakteknya, jumlah dan kualitas udara yang akan dipampatkan merupakan suatu hal yang sangat penting. Udara yang terkontaminasi, masih banyak mengandung polutan, seperti partikel debu, sisa-sisa oli pelumas dan uap air (*moisture*)

seringkali dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem pnumatik dan merusak komponen pnumatik. Oleh Karena itu, sistem pnumatik memerlukan penanganan udara kempa yang sangat presisi, melalui penyaringan (*filtering*) dan pengeringan (*drying*). Dengan sistem penyaringan yang cermat akan dapat mengatasi partikel debu dan kotoran lainnya. melalui sistem pengeringan yang baik, dapat mengurangi kandungan uap air yang terbawa masuk ke dalam kompressor.

Untuk menyediakan *continuing performance* dari sistem kontrol pnumatik dan *working element* yang digunakannya, perlu ada jaminan bahwa udara kempa yang akan digunakan untuk sistem pnumatik harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

- Tekanan kerja sesuai standar
- Udara kempa harus kering tidak mengandung uap air, dan
- Bersih dari kotoran.

Bila kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi, maka keadaan yang lebih buruk atau degenerasi akan muncul lebih cepat. Sebagai dampaknya adalah terjadi *down time* pada sistem dan biaya pemeliharaan meningkat.

Pembangkitan udara kempa dimulai dari kerja kompresor udara. Udara kempa mengalir melalui berbagai komponen sebelum akhirnya mencapai elemen akhir yang merupakan elemen aktuasi (silinder atau motor pnumatik). Komponen berikut perlu dipertimbangkan ketika akan menyiapkan penyediaan udara kempa untuk keperluan sistem pnumatik, yaitu;

- Inlet filter
- Air compressor
- Air reservoir
- Air Dryer
- Air filter with water separator
- Pressure regulator
- Air lubricator
- Drainage points

Upaya penyiapan udara kempa yang buruk dan seadanya, pasti akan cenderung menimbulkan malfunction dan mengakibatkan seal dan bagian-bagian bergerak cepat aus, oli masuk ke dalam katub, silencer terkontaminasi, korosi pada pipa, katub dan silinder, serta menguras pelumasan. Pada kasus kebocoran, maka pelepasan udara kempa yang terkontaminasi akan dapat mencemari produk (makanan).

Pada umumnya komponen pnumatik didisain menerima tekanan kerja normal antara 800 hingga 1000 kPa (8 – 10 bar). Pengalaman praktek menunjukkan, untuk alasan ekonomi, tekanan operasi sebesar 6 bar dapat digunakan. Biasanya rugi tekanan berkisar 10 hingga 50 kPa (0,1 – 0,5 bar) yang disebabkan oleh berbagai kondisi, misalnya adanya bengkokan pipa dan panjang pipa, tahanan pipa dan adanya kebocoran. Sehingga untuk mengatasi adanya kerugian tekanan, maka udara kempa yang tersimpan di dalam kompresor harus berikisar 6,5 – 7 bar.

Sistem pnumatik menggunakan udara kempauntuk menghasilkan gerakan mekanik. Untuk mengurangi adanya fluktuasi tekanan, dan memberikan jaminan kualitas penaluran udara kempa, dipasang sebuah reservoir (receiver tank). Kompresor mengisi reservoir yang disediakan sebagai storage tank. Ukuran diameter pipa distribusi udara harus dipilih sedemikian sehingga rugi tekanan tidak boleh melebihi 10 kPa (0,1 bar).

Dari berbagai piranti dalam sistem pnumatik, yang perlu mendapat perhatian lebih adalah *compressor*, *Filter & dryer*.

Tipe Kompresor Udara

Pemilihan tipe kompresor tergantung beberapa aspek, yaitu jumlah udara kempa yang harus disediakan, tekanan udara kempa, kualitas dan kebersihan udara kempa, serta tingkat kekeringan udara kempa.

Kompresor torak, merupakan salah satu tipe kompresor yang paling populer dan memberikan rentang tekanan dan *delivery rate* yang luas. Untuk pemakaian tekanan yang lebih tinggi dapat digunakan multistage system.

Rentang tekanan optimum yang dihasilkan oleh kompresor torak adalah

Single stage : hingga 4 bar
Double stage : hingga 15 bar
Multistage : di atas 15 bar

Kompresor Diafragma, merupakan keluarga kompresor torak, tetapi dilengkapidengan diafragma untuk memisahkan antara piston dan *compressor chamber*. Keuntungan sistem ini minyak pelumas (oli) tidak dapat terbawa oleh aliran udara kempa. Digunakan pada industri makanan, farmasi dan kimiawi.

Kompresor Rotari, kompresor ini menggunakan rotating elemen untuk menaikkan tekanan udara. Selama proses kompresi,compressor chamber selalu mengecil secara kontinyu.

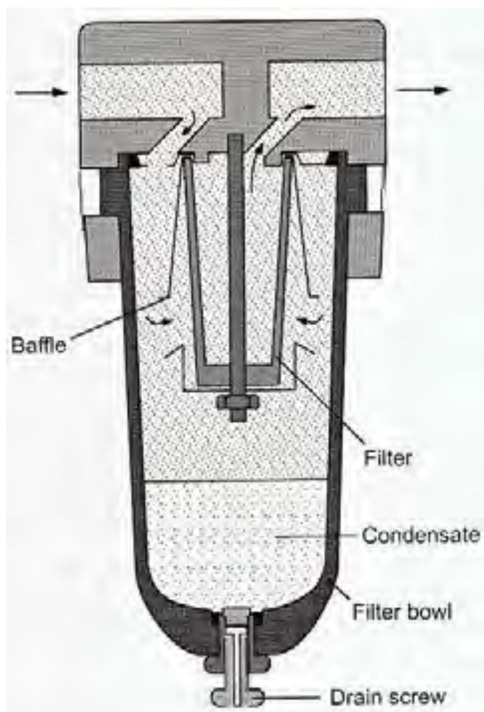
Kompresor Flow, dibuat dalam bentuk axial dan radial. Aliran udara digerakkan oleh turbin atau sudu-sudu. Energi kinetik diubah menjadi energi tekanan. Pada kasus *axial compressor*, udara berakselerasi pada arah axial karena efek pergerakan sudu-sudu.

Air Service Unit

Air service unit merupakan kombinasi dari beberapa komponen untuk memberikan jaminan kualitas udara kempa pada sistem pnumatik, terdiri dari 3 komponen, yaitu:

- *Compressed air filter*
- *Compressed air regulator*
- *Compressed air regulator (optional)*

Compressed air filters adalah alat penyaring yang berfungsi mengambil atau memisahkan seluruh kontaminan dan uap air yang terkandung di dalam udara kempa yang dihasilkan oleh kompresor udara. Udara kempa dari kompresor yang masih mengandung uapair masuk ke filter bowl melalui guide slot. Partikel liquid dan partikel kotoran dipisahkan secara sentrifugal. Akibat adanya gaya centrifugal, maka seluruh liquid dan partikel debu dan kotoran lain akan terlempar keluar dan terkumpul di bagian bawah *filter bowl*. Selanjutnya udara kempa yang sudah bersih dari kontaminat, disalurkan ke sistem filter berikutnya yang disebut *sintered filter*. *Sintered filter* akan mengeluarkan partikel debu yang masih tersisa.



Gambar 1.7 Compresed Air filter

Pemeliharaan Filter

Air kondensat yang terkumpul harus dibuang sebelum melebihi maksimum level yang diinginkan, kalau tidak air kondensat tersebut akan kembali masuk ke

dalam *air stream*. Frekuensi perawatan *filter*, tergantung pada kualitas udara dan tingkat kontaminan dari udara tekan. Semakin jelek kualitas udara tekan maka semakin sering pula *filter* harus dibersihkan atau diganti. Deposit condensation yang terkumpul di bagian bawah *filter bowl* harus di keluarkan melalui *drain screw*, bila depositnya telah mencapai level maksimum. Bila kandungan uap air sangat tinggi, maka disarankan untuk menggunakan *automatic water separator*.

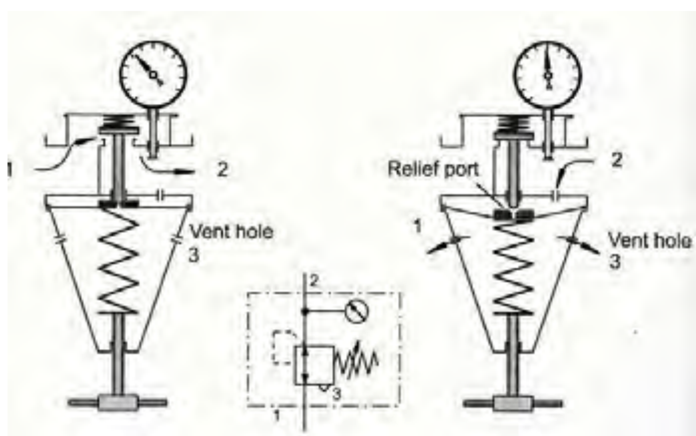
Tip Regular Maintenance:

(i) Compressed Air Filter

Condensate level harus diperiksa secara regular. Upayakan, jangan sampai melebihi *level indication* pada *sight glass*, agar *deposite condensate* tidak dapat tertarik masuk ke dalam *compressed air line*. Bukalah *drain screw* yang terdapat pada *sight glass* untuk mengeluarkan *deposite condensate*. Kemudian *filter cartridge* yang ada di dalam *filter* harus juga dibersihkan.

(ii) *Pressure Regulating Valve*

Piranti ini tidak memerlukan perawatan khusus, bila pemeliharaan *compressed air filter* dilakukan dengan baik.

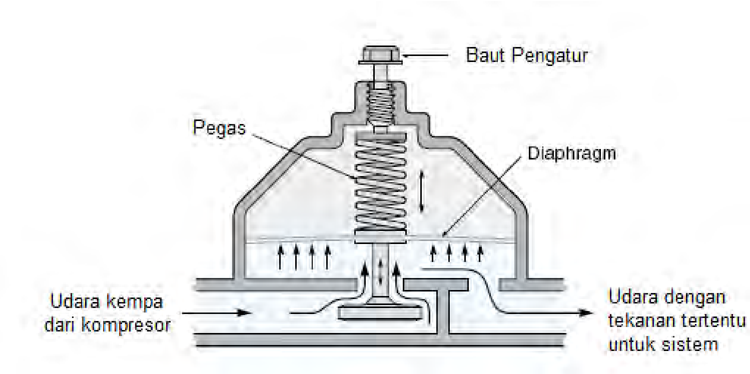


Gambar 1.8*Pressure Regulator, Relieving*

(iii) *Compressed Air Regulator*

Periksa oil level pada sight glass dan bila perlu tambah oil sehingga mencapai level yang ditentukan*. Plastic filter* dan *lubricator bowl* tidak

boleh dibersihkan dengan bahan kimiawi trichloroethylene. Hanya *mineral oil* yang boleh digunakan.



Gambar 1.9 Air Regulator

Tugas 1.5

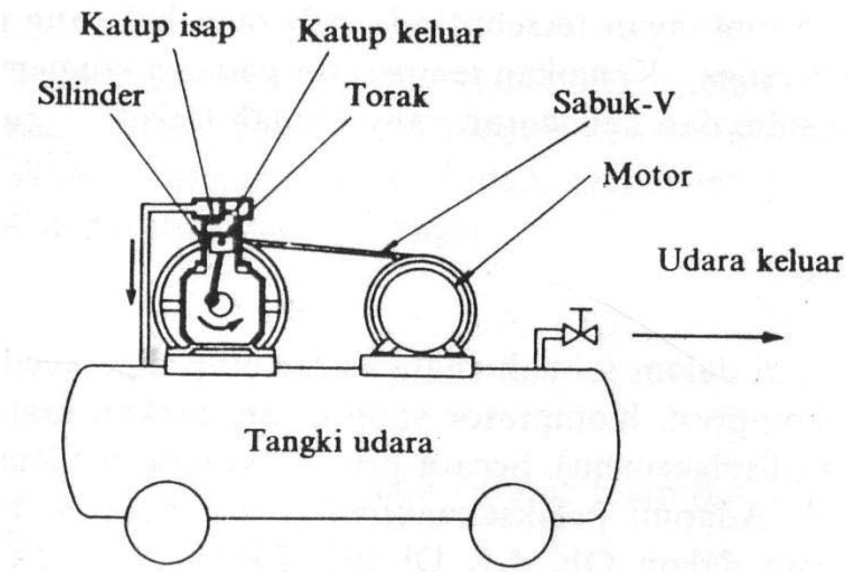
Untuk melengkapi jawaban atas tugas berikut carilah berdasarkan sumber belajar lain.

1. Perhatikan pernyataan : "Setiap fluida yang melalui sebuah saluran (pipa) dikatakan bahwa jumlah aliran yang melalui saluran yang berbeda-beda luas penampangnya akan selalu tetap sama pada setiap titik". Berikan bukti secara konsep dan persamaan yang mendukung kebenaran pernyataan di atas.
2. Sebutkan minimal 5 (lima) keuntungan dan kerugian pemakaian pneumatik !
3. Hal-hal apa sajakah yang harus diperhatikan untuk mendapatkan udara yang berkualitas?
4.Untuk mempersiapkan udara bertekanan, elemen-elemen apa sajakah yang diperlukan?
5. Sebutkan jenis-jenis kompresor !.
6. Sebutkan kriteria pemilihan kompresor !
7.Kompresor jenis apa saja yang dapat menghasilkan udara bertekanan bebas minyak ?

LEMBAR KERJA 1

INSTALASI DAN PENGOPERASIAN KOMPRESOR UDARA

Gambar



Alat dan Bahan

a). 1 unit kompresor udara lengkap dengan perlengkapan instalasi

b). Peralatan tangan, kunci pas/ring (sesuai kebutuhan)

c). Alat ukur yang diperlukan sesuai dengan kebutuhan

d). Minyak pelumas (Oli)

e). Grease/ gemuk

f). Sealed tape

g). Lap / majun.

Keselamatan Kerja

a). Gunakanlah peralatantangan sesuai denganfungsinya.

b). Ikutilah instruksi dari instruktur/guruataupunprosedur kerja yang tertera pada lembar kerja.

c). Mintalah ijin dari guruanda bila hendak melakukanpekerjaan yang tidak tertera pada lembar kerja.

d). Bila perlu mintalah buku manual dari mesin yangdigunakan.

e). Jangan memukul poros, ulir atau bagian lainnyadengan palu besi secara langsung

Langkah Kerja

a). Persiapkan alat dan bahan praktikum secara cermat, efektif dan seefisien mungkin.

b). Perhatikan instruksi praktikum yang disampaikan oleh guru/instruktur.

c). Pelajari cara kerja kompresor dengan teliti dancermat!

d). Lakukan instalasi unit kompresor dengan langkahyang tepat dan sistematik! (perhatikan buku manual)

e). Lakukan pemeriksaan dengan pengamatan danpengukuran pada komponen-komponen kompresoryang sudah dinstalasidari kemungkinan malfungsi!

f). Buatlah catatan-catatan penting kegiatan praktikumsecara ringkas!

g). Operasikan kompresor dan catat tekanannya!

h). Diskusikan mengenai kondisi kompresor dan instalasi, kemungkinan penyebab kerusakan, kemungkinanperbaikan serta kemungkinan akibat jika kerusakanterjadi dan dibiarkan!

i). Lakukan pembongkarankembali terhadap bagian-bagian kompresor udara dan instalasinya yang tadi anda rangkai secara efektif dan efisien!

j). Diskusikan inovasi usaha apa yang bisa dikembangkan setelah anda mengetahui tentang sistem kerja kompresor dan sistem instalasi kompresor!

k). Setelah selesai, bereskan kembali peralatan danbahan yang telah digunakan seperti keadaan semula serta bersihkan tempat kerja!

Tugas

a). Buatlah laporan praktikum secara ringkas dan jelas.

b). Buatlah rangkuman pengetahuan baru yang andaperoleh setelah mempelajari materi pada kegiatanbelajar 1.

Rangkuman

Penggunaan *pneumatic control & actuation* menjadi semakin luas di bidang otomasi industri. Salah satu alasannya adalah, dari sekian banyak masalah otomasi industri, maka tidak ada medium yang lebih mudah didapat dan lebih ekonomis.

Mekanisasi dan otomatisasi dalam bidang proses dan manufaktur di industri menjadikan *pneumatic automation* menjadi pilar utama dalam banyak industri, misalnya untuk keperluan *material handling, packaging, bottling, distributing, & sorting system. Pneumatic automation* diterapkandi berbagai industri, misalnya industri makanan & minuman, farmasi, logam, pertambangan dan petrokimia.

Permukaan bumi kita diselimuti oleh udara atmosfir, yang mempunyai komposisi sebagai berikut Nitrogen78% dan Oxigen21%. Hukum-hukum alam yang mendasari penerapan *fluid system* untuk membangun mekanisasi dan manipulasi gerak adalah hokum Pascal. Hukum Pascal diaplikasikan pada sistem *fluid power transmission*. Hukum fisika lainnya yang digunakan untuk keperluan analisis, desain dan manufaktur pada sistem fluida adalah Hukum Boyle, Mariotte, Gay Lussac dan Charles.

Untuk menyediakan *continuing performance* dari sistem kontrol pnumatik dan *working element* yang digunakannya, perlu ada jaminan bahwa udara kempa yang akan digunakan untuk sistem pnumatik harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

- Tekanan kerja sesuai standar
- Udara kempa harus kering tidak mengandung uap air, dan
- Bersih dari kotoran.

Pengalaman praktek menunjukkan, untuk alasan ekonomi, tekanan operasi sebesar 6 bar dapat digunakan. Biasanya rugi tekanan berkisar 10 hingga 50 kPa (0,1 – 0,5 bar) yang disebabkan oleh berbagai kondisi, misalnya adanya bengkokan pipa dan panjang pipa, tahanan pipa dan adanya kebocoran. Sehingga untuk mengatasi adanya kerugian tekanan, maka udara kempa yang tersimpan di dalam kompresor harus berikisar 6,5 – 7 bar.

Dari berbagai piranti dalam sistem pnumatik, yang perlu mendapat perhatian lebih adalah *compressor*, *Filter & dryer*.

Evaluasi

1. Jelaskan perbedaan sistem pnumatik dan sistem hidrolik?

   ....

....

2. jelaskan keuntungan sistem pnumatik dibandingkan sistem hidrolik?

   ....

....

3. Jelaskan makna pneumatic automation?

   ....

....

4. Jelaskan hubungan antara tekanan dan volume dan suhu gas?

   ....

....

5. Sebutkan syarat udara kempa yang digunakan pada sistem pnumatik?

   ....

....

6. Bagaimana tipikal sistem pembangkitan dan distribusi udara kempa, buat sketsa konfigurasinya!

   ....

   ....

7. Jelaskan fungsi kompresor, filter, dryer, dan regulator?

   ....

....

8. Buat sketsa mekanisasi aplikasi sistem pnumatik?

....

....

....

9. Mengapa pada industri pangan, perkayuan, tekstil dan pengepakan banyak menggunakan peralatan dan mesin dengan tenaga udara bertekanan ?

....

10. Udara yang ditiup keluar menimbulkan kebisingan (desisan), terlebih dalam ruangan kerja, sangat mengganggu. Bagaimana mengatasinya?

....

11.Jelaskan cara kerja kompresor piston!

....

12. Sebutkan macam-macam kompresor berdasarkan cara pemampatan jenis perpindahan !

....

13. Berapa kapasitas dan tekanan yang dihasilkan kompresor di bawah ini ?

- Kompresor piston satu tahap
- Kompresor piston dua tahap
- Kompresor sudu geser
- Kompresor sekerup
- Kompresor Roots-Blower

Umpan Balik dan Tindak Lanjut

✓ Umpan Balik

Sudahkah anda mampu:

- Menjelaskan istilah pneumatic automation
- Menjelaskan hukum-hukum fisika tentang karakteristik dan dinamika udara kempa.
- Menggunakan udara kempa untuk keperluan kontrol pnumatik.

✓ Tindak Lanjut

Siswa dapat mengidentifikasi komponen sistem pnumatik, mempersiapkan serta mengoperasikannya.

2. Kegiatan Belajar 2: Operasi Sistem Kontrol Pnumatik

Indikator Keberhasilan

Setelah menyelesaikan kegiatan belajar ini, diharapkan siswa mampu:

- Menjelaskan operasional sistem pneumatik
- Mengidentifikasi komponen sistem pnumatik
- Menganalisis fungsi dan diagram alir rangkaian kontrol pnumatik
- Mengoperasikan sistem kontrol pnumatik

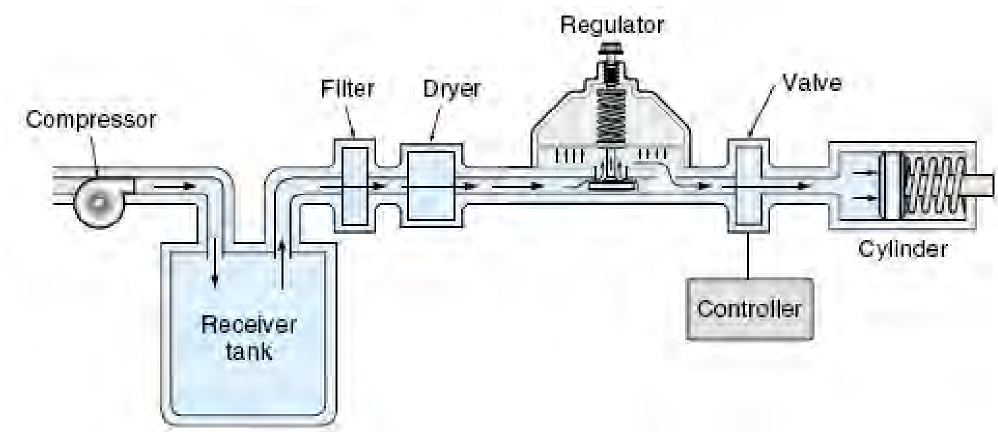
2.1 Pengenalan Bagian Sistem Pneumatik

Sistem Pnumatik dalam industri manufaktur merupakan muara dari semua proses mekanik atau manipulasi gerakan yang menggunakan tenaga udara kempa. Dalam sistem pnumatik udara kempa akan memindahkan suatu gaya atau gerakan.

Sistem pnumatik meliputi semua komponen mesin atau peralatan, yang beroperasi secara pneumatik atau menggunakan proses-proses pneumatik. Udara bertekanan dalam peranannya sebagai unsur penggerak merupakan bagian utama yang harus mendapatkan perhatian lebih banyak.

Sistem pnumatik menggunakan udara bertekanan untuk menghasilkan gerakan mekanik. Sistem dasar kendali pnumatik meliputi piranti penyedia sumber energi udara kempa yang terdiri dari kompresor udara, sistem filter udara, sistem pengering udara, dan sistem pengatur tekanan udara. Kemudian elemen input untuk mengendalikan sistem, berupa katub tombol tekan (pushbutton valve) dan

katub sensor. Selanjutnya berbagai jenis katub pengarah dan pengatur tekanan udara, dan yang terakhir berupa aktuator (cylinder).



Gambar 2.1 Tipikal Sistem Kendali Pnumatik

Gambar 2.1 memperlihatkan konfigurasi dasar sistem kontrol pnumatik.

Sistem tersebut mencakup *aircompressor,* menghasilkan udara kempa secara kontinyu, *intakefilter* berfungsi menahan kotoran udara sebelum masuk ke sistem, *dryer* berfungsi menyerap uap air di udara (*moisture*), *receiver tank* sebagai reservoar udara kempa, *pressure regulator* mengatur dan menjaga tekanan udara tetap konstan, *valve* mengontrol aliran udara kempa, dan *pneumatic cylinder* sebagai aktuator yang mengubah energi udara menjadi energi mekanik.

Sistem pnumatik meliputi semua komponen mesin atau peralatan, yang beroperasi secara pneumatik atau menggunakan proses-proses pneumatik. Udara bertekanan dalam peranannya sebagai unsur penggerak merupakan bagian utama yang harus mendapatkan perhatian lebih banyak.

Pnumatik sistem menggunakan udara bertekanan untuk menghasilkan gerakan mekanik. Sistem dasar kendali pnumatik meliputi piranti penyedia sumber energi udara kempa yang terdiri dari kompresor udara, sistem filter udara, sistem pengering udara, dan sistem pengatur telkanan udara. Kemudian eleven masukan untuk mengendalikan sistem, berupa pushbutton valve dan sensor valve.

Selanjutnya berbagai jenis katub pengarah dan pengatur tekanan udara, dan yang terakhir berupa aktuator.

Diagram rangkaian harus digambar dengan tata cara penggambaran yang benar. Karena hal ini akan memudahkan seseorang untuk membaca rangkaian, sehingga mempermudah pada saat merangkai atau mencari kesalahan sistem pneumatik.

Tata letak komponen diagram rangkaian harus disesuaikan dengan diagram alir dari mata rantai kontrol yaitu sebuah sinyal harus mulai mengalir dari bawah menuju ke atas dari gambar rangkaian.

2.1.1 Kompresor

Untuk menyediakan *continuing performance* dari sistem kontrol pnumatik dan *working element* yang digunakannya, perlu ada jaminanbahwa udara kempa yang akan digunakan untuk sistem pnumatik harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

- Tekanan kerja sesuai standar
- Udara kempa harus kering tidak mengandung uap air, dan
- Bersih dari kotoran.

Bila kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi, maka keadaan yang lebih buruk atau degenerasi akan muncul lebih cepat. Sebagai dampaknya adalah terjadi *down time* pada sistem dan biaya pemeliharaan meningkat.

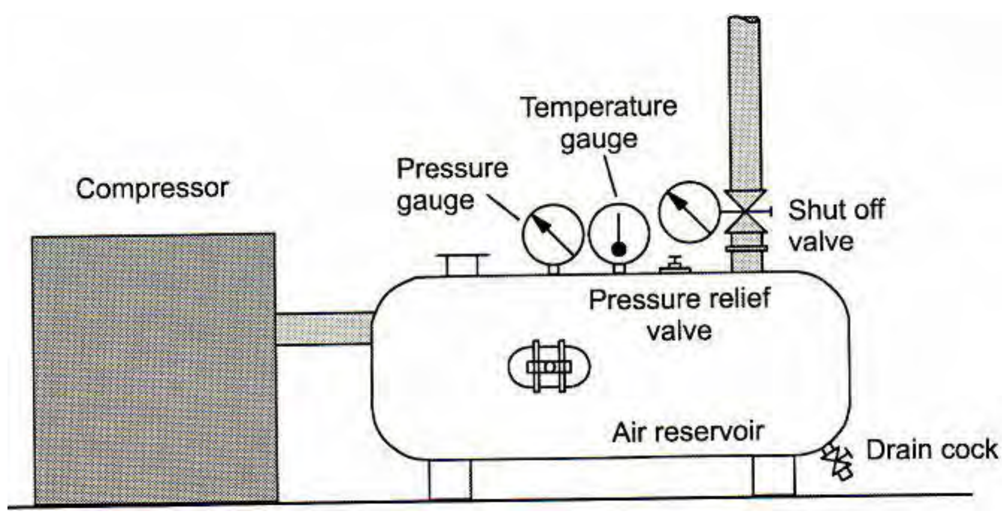
Upaya penyiapan udara kempa yang buruk dan seadanya, pasti akan cenderung menimbulkan malfunction dan mengakibatkan seal dan bagian-bagian bergerak cepat aus, oli masuk ke dalam katub, silencer terkontaminasi, korosi pada pipa, katub dan silinder, serta menguras pelumasan. Pada kasus kebocoran, maka pelepasan udara kempa yang terkontaminasi akan dapat mencemari produk (makanan).

Pada umumnya komponen pnumatik didisain menerima tekanan kerja normal antara 800 hingga 1000 kPa (8 – 10 bar). Pengalaman praktek menunjukkan, untuk alasan ekonomi, tekanan operasi sebesar 6 bar dapat digunakan. Biasanya rugi tekanan berkisar 10 hingga 50 kPa (0,1 – 0,5 bar) yang disebabkan oleh berbagai kondisi, misalnya adanya bengkokan pipa dan panjang pipa, tahanan

pipa dan adanya kebocoran. Sehingga untuk mengatasi adanya kerugian tekanan, maka udara kempa yang tersimpan di dalam kompresor harus berikisar 6,5 – 7 bar.

Sistem pnumatik menggunakan udara kempauntuk menghasilkan gerakan mekanik. Untuk mengurangi adanya fluktuasi tekanan, dan memberikan jaminan kualitas penaluran udara kempa, dipasang sebuah reservoir (receiver tank). Kompresor mengisi reservoir yang disediakan sebagai storage tank. Ukuran diameter pipa distribusi udara harus dipilih sedemikian sehingga rugi tekanan tidak boleh melebihi 10 kPa (0,1 bar).

Dari berbagai piranti dalam sistem pnumatik, yang perlu mendapat perhatian lebih adalah*compressor*, *Filter & dryer*.



Gambar 2.2 Sirkit Reservoar Udara

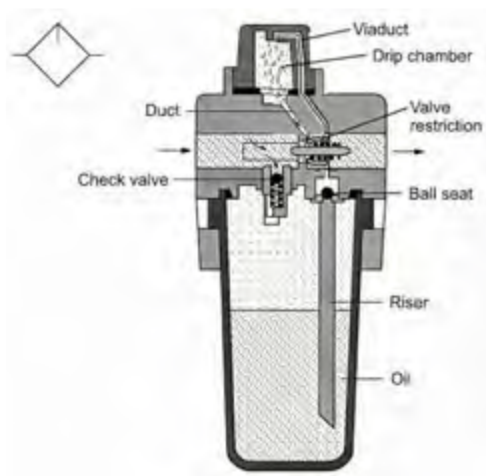
2.1.2 Air Service Unit

Air service unit merupakan kombinasi dari beberapa komponen untuk memberikan jaminan kualitas udara kempa pada sistem pnumatik, terdiri dari 3 komponen, yaitu:

- *Compressed air filter*
- *Compressed air regulator*
- *Compressed air regulator (optional)*

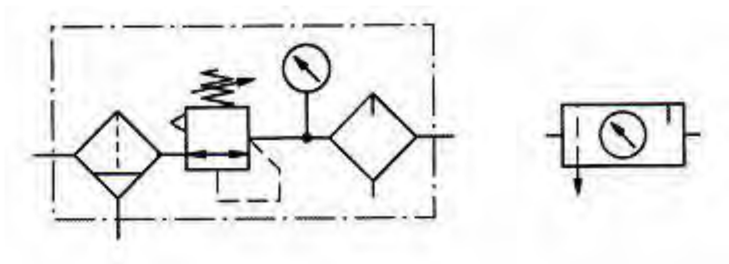
Kegunaan komponen *Compressed air filter* secara rinci telah dijelaskan pada kegiatan belajar 1.

Air service unit juga biasanya dilengkapi dengan Lubricator, digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3Lubricator

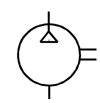
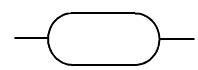
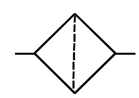
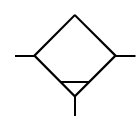
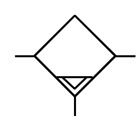
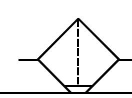


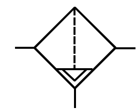
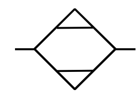
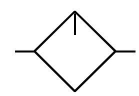
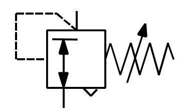
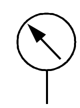
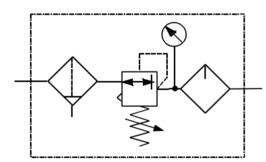
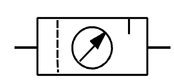
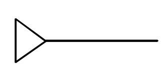
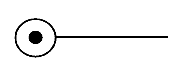


Gambar 2.4 Air Service Unit dengan Lubricator

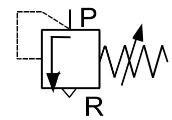
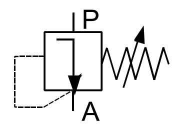
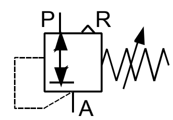
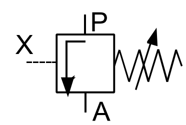
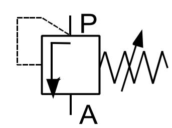
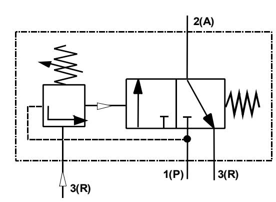
SIMBOL-SIMBOL UMUM PENGGUNAAN UDARA BERTEKANAN DAN KATUP UDARA

Tabel 2.1 Penggunaan udara bertekanan

Nama Komponen	Keterangan	Simbol
Kompresor	Kapasitas tetap	
Tangki udara	Alat untuk menyimpan udara bertekanan (tandon udara bertekanan)	
Filter	Alat untuk menyaring kotoran-kotoran yang terbawa oleh udara	
Pemisah air	Kerja Manual	
	Pembuangan otomatis	
Filter dengan pemisah udara	Alat ini adalah kombinasi antara filter dan pemisah air :	

	• Manual	
	• Pembuangan otomatis	
Pengering udara	alat untuk mengeringkan udara	
Pelumas	Alat untuk memasukkan minyak pelumas ke dalam aliran udara yang digunakan untuk melumasi peralatan.	
Pengatur tekanan	Katup untuk mengatur tekanan keluaran yang konstan sesuai yang diinginkan	
Alat ukur tekanan	Manometer	
Unit pelayanan/ pemeliharaan udara (Air Service Unit)	Unit yang terdiri filter, pengatur tekanan, alat ukur tekanan, dan pelumas.	
	Simbol penyederhanaan.	
Sumber tekanan	Simbol standart	
	Simbol tidak standart	

Tabel 2.2 Katup Tekanan

Nama Katup	Keterangan	Simbol
Katup Pembatas Tekanan	Katup ini digunakan sebagai pembatas tekanan pada tangki udara	
Katup pengatur tekanan	Tanpa lubang pembuangan	
	Dengan lubang pembuangan	
Katup urutan (Sequen valve)	Dengan sumber tekanan dari luar	
	Dengan sumber tekanan dari saluran masukan	
	Kombinasi katup urutan	

Tugas 2.1

Sebuah selang/saluran pneumatik 5 mm dialiri udara dengan tekanan 6 bar. Kemudian ujung selang tersebut dibuat 2 percabangan dengan diameter yang

samamelaluisambungan T. Tentukan besar tekanan udara pada setiap cabang. Tentukan berdasarkan konsep Fisika!

2.1.3 Pneumatic Actuator

Actuators merupakan elemen aktivasi(powering element) di dalam sistem control pnumatik. *Actuator* melakukan banyak pekerjaan dalam hal membangkitkan berbagai pergerakan misalnya silinder dan motor pnumatik. Actuator merupakan piranti terakhir dari untaian kontrol. Aktuator mengubah *control signal* ke dalam suatu kerja tertentu.

Berikut ini diberikan contoh *actuator*yang banyak dijumpai di dalam *industrial automation*, yaitu *Cylinders, motors, lighting devices, heating devices, visual and acoustic alarm devices*, dan lain-lainnya.

Seringkali, Elemen-elemen *Final Control* seperti *valves, contactors, power transistors, power thyristor* dan lain-lainnya disebut juga sebagai *actuator,* walaupun ada pula yang mengelompokkan dalam kategori interface.

Koversi energi pnumatik, dan energi listrik ke dalam *mechanical work* selalu dilakukan oleh *actuator*. Ada tiga cara mengontrol actuator, yaitu:

- *pneumatics*
- *hydraulics*
- *electrics*

Dilihat dari jenis pergerakannya, maka actuator dapat dikelompokkan menjadi 3 main areas, yaitu

- *Linear motion*
- *swivel motion*
- *rotary motion*
- *End effectors*

Linear motion dapat diperoleh dengan menggunakan *pneumatic cylinders* dan *electric actuators*. Demikian juga rotary motion juga dapat diperoleh melalui *pneumatic motor* dan *electric motors*.

Pneumatic cylinders merupakan piranti yang banyak digunakan dalam membangkitkan *linear force, work and power*. Dalam hal ini, tekanan udara dikalikan dengan diameter silinder akan memberikan gaya tekan sedang volume udaranya akan menentukan kecepatan gerakannya. Dalam hal ini kombinasi antara force and motion akan menghasilkan suatu kerja tertentu.

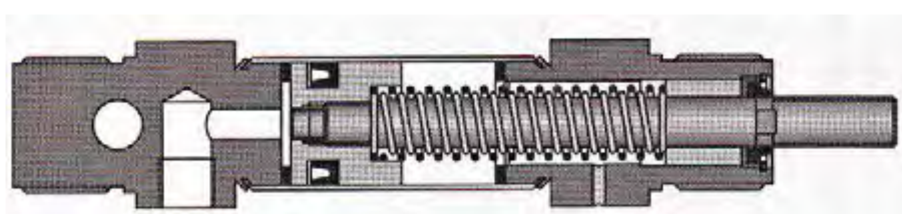
Membuat gerakan linear dengan elemen mekanik yang dioperasikan dengan tenaga listrik seringkali menjadi pekerjaan yang sangat rumit dan memerlukan banyak tenaga. Tetapi bila menggunakan *pneumatic cylinder* akan menyederhanakan pekerjaan tersebut dan juga hanya memerlukan sedikit energi.

Metoda yangbiasa diterapkan untuk keperluan *material handling*, mencakup *clamping, shifting, positioning, orienting, branching.*

Aplikasi yang lazim diterapkan di industri, mencakup*packaging, filling, metering, locking, driving of axes, door or cute control, transfer of materials, turning and inverting of parts, sorting of parts, stacking of components, stamping and embrossing of components. S*istem pnumatik juga digunakan dalam pemesinan dan CNC, antara lain*drilling, turning, milling, sawing, finishing, forming, quality control.*

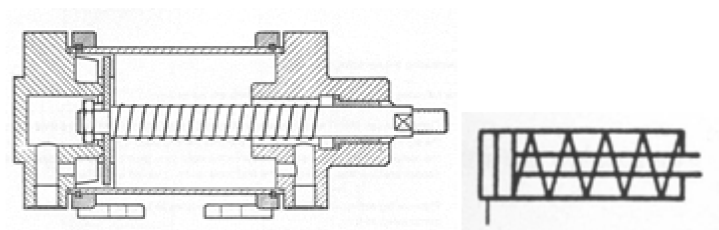
Single Acting Cylinder

Dalam *single acting cylinder*, udara tekan hanya disalurkan dari satu sisi. Single acting cylinder hanya dapat menghasilkan kerja dengan satu arah, sehingga tekanan udara hanya diperlukan dari satu arah. Untuk menggerakkan piston ke arahi sebaliknya digunakan pegas atau daya tekan dari luar.

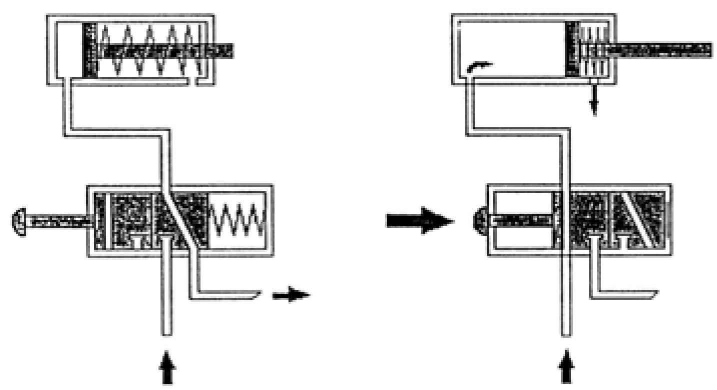


Gambar 2.5*Single Acting Cylinder*

Pada *single acting cylinder*, suatu *built-in spring* didesain khusus untuk mengembalikan piston ke posisi semula. Kekurangan single acting cylinder pergerakan piston dibatasi oleh panjang pegas yang digunakan. Biasanya panjang langkah piston berkisar antara 80 sampai 100 mm. Gambar 2.6 memperlihatkan konstruksi *single acting cylinder.*



Gambar 2.6Konstruksi & simbol Single Acting Cylinder



(a) (b)

Gambar 2.7 Control Single Acting Cylinder

Batang piston silinder kerja tunggal bergerak keluar pada saat silinder menerima udara bertekanan. Jika udara bertekanan dihilangkan, secara otomatis piston kembali lagi ke posisi awal.

Posisi Awal

Posisi awal (gambar 2.7a) didefinisikan sebagai posisi normal dari sistem. Semua bagian terhubung dan tombol tidak ditekan oleh operator. Udara bertekanan dari catu daya ditutup, piston masuk ke dalam oleh dorongan pegas kembali. Lubang masukan silinder dihubungkan ke lubang pembuangan melalui katup. Pengiriman bertekanan diputus oleh katup.

Tombol ditekan

Menekan tombol tekan berarti memindahkan posisi katup 3/2, melawan pegas katup. Diagram (gambar 2.7b) menunjukkan katup teraktifkan pada posisi kerja. Udara bertekanan dari catu daya melalui katup masuk ke lubang masukan silinder kerja tunggal. Udara bertekanan yang terkumpul menyebabkan batang piston bergerak keluar melawan gaya pegas kembali. Setelah piston sampai pada posisi akhir langkah maju, maka tekanan udara di dalam tabung silinder meningkat mencapai harga maksimum.

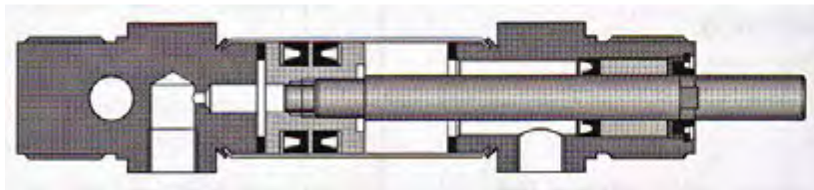
Tombol dilepas

Segera setelah tombol dilepas, maka pegas di katup mengembalikan katup ke posisi awal dan batang piston silinder kembali masuk. Jika tombol tekan diaktifkan lau dilepas sebelum silinder keluar penuh, piston masuk kembali secara langsung, maka ada hubungan langsung antara pengoperasian tombol tekan dan posisi silinder. Hal ini memungkinkan silinder bisa keluar tanpa mencapai akhir langkah.

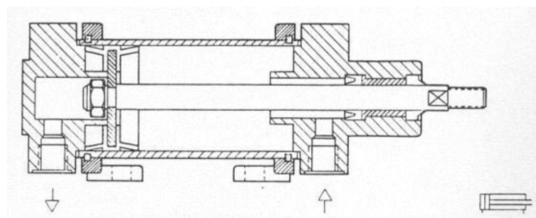
Double Acting Cylinder

Dalam double acting cylinder, gaya yang diperoleh dari udara tekan, menggerakkan piston dari dua arah. Baik arah maju dan arah mundur menggunakan gaya dari udara tekan. Double acting cylinder, digunakan pada aplikasi di mana return motion diperlukan untuk menghasilkan fungsi tertentu. Pada prinsipnya, langkah piston untuk double acting cylinder tidak terbatas, tetapi

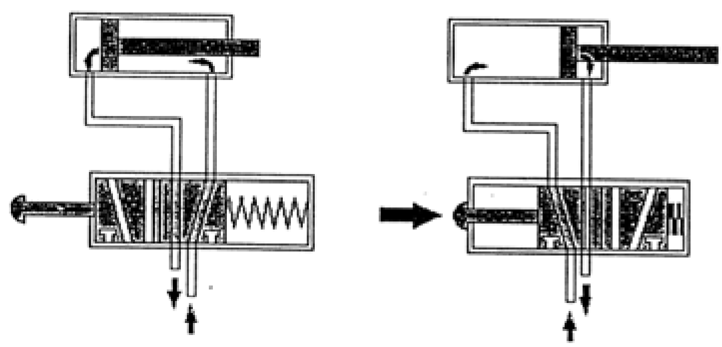
resiko terjadinya buckling dan bending pada extended piston rod perlu menjadi pertimbangan.



Gambar 2.8 Cylinder Double Acting



Gambar 2.9 Konstruksi Double Acting Cilinder dan symbol



(a) (b)

Gambar 2.10 Control Double acting Cylinder

Posisi Awal

Posisi awal (gambar 2.10a) semua hubungan dibuat tidak ada tekanan dan tombol tidak ditekan oleh operator. Pada posisi tidak diaktifkan, udara bertekanan diberikan pada sisi batang piston silinder, sedangkan udara pada sisi piston silinder dibuang melalui saluran buang katup.

Tombol ditekan

Menekan tombol berarti memindahkan posisi katup 4/2 melawan gaya pegas pengembali. Diagram rangkaian (gambar 2.10b) menunjukkan katup aktif pada posisi kerja. Pada posisi ini suplai udara bertekanan dialirkan ke sisi piston silinder dan udara pada sisi batang piston dibuang keluar lewat katup. Tekanan pada sisi piston mendorong keluar batang piston. Pada saat langlah keluar penuh dicapai, tekanan pada sisi piston mencapai maksimum.

Tombol dilepas

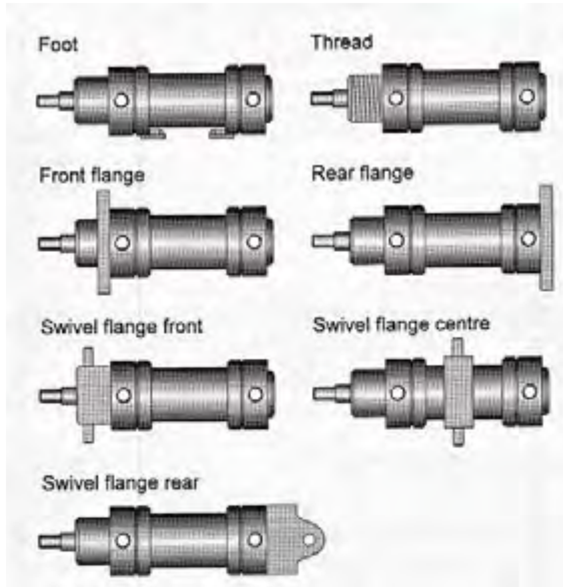
Tombol tekan dilepas, pegas pengembali katup menekan katup kembali ke posisi semula. Sekarang suplai udara bertekanan dialirkan ke sisi batang piston dan udara pada sisi piston dibuang keluar melalui katup, sehingga batang piston silinder kerja ganda masuk kembali.

Kecepatan Silinder Kerja Ganda

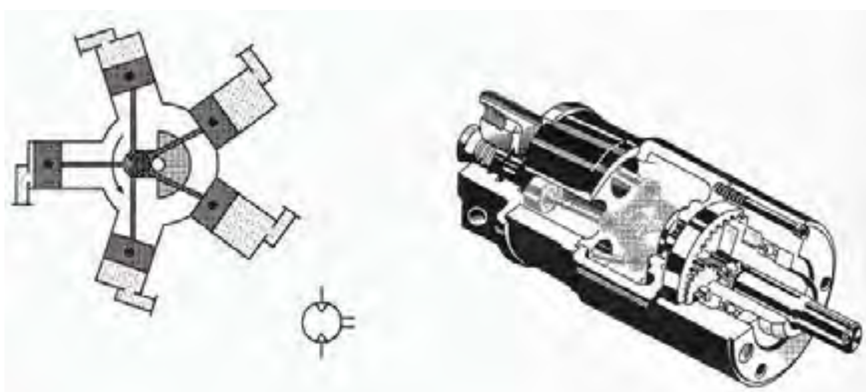
Kecepatan silinder keluar dan masuk berbeda. Kenyataannya bahwa volume silinder pada sisi batang piston lebih kecil daripada volume udara pada sisi piston. Oleh karena itu volume suplai udara bertekanan selama arah masuk lebih kecil dari pada arah keluar sehingga *gerakan silinder arah masuk lebih cepat* daripada arah keluar. Jika tombol tekan dilepas sebelum silinder keluar sampai langkah penuh, maka batang piston akan masuk kembali dengan segera. Oleh karena itu ada hubungan langsung antara pengoperasian tombol dan posisi batang piston silinder

Sirkit diagram merupakan dokumen yang sangat penting yang diperlukan oleh seorang spesialis pada saat sedang melaksanakan instalasi sistem kendali elektrik, atau pada saat melakukan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan.

Berbagai jenis sirkit diagram digunakan untuk menunjukkan fungsi dan operasi suatu peralatan dan rangkaian kendali dari suatu instalasi yang lengkap, meliputi diagram tata letak, diagram pengawatan, diagram jaringan dan diagram skematik.



Gambar 2.11 Contoh Aplikasi pada Sistem Conveying



Gambar 2.12 Motor Pneumatic

Berikut inidiberikan contoh perhitungan yang berkaitan dengan penggunaan silinder pnumatik.

Menentukan Diameter Piston

Contoh :

Masa benda yang diangkat (m) = 100 kg

Tekanan udara ke piston (P) = 6 bar

Langlah piston (I) = 500 mm

Solusi :

Gaya grafitasi:

$$F = m \times g = 100 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 1000 \text{ N}$$

Tekanan udara kompresi = 6 bar = 600.000 N/m^2

Gesekan:

$$R = \pm 10\% = 10\% \times 1000 \text{ N} = 100 \text{ N}$$

Gaya efektif:

$$F = p \times A – R = p \times \pi/4 \times d^2 – R$$

$$F = p \times 0{,}786 \times d^2 – R$$

Jadi diameter piston

$$D = \frac{F + R}{P \times 0{,}786 \times d^2}$$

Menetukan Konsumsi udara kompresi

Spesifikasi Piston

D = 50 mm

L = 500 mm

Solusi :

Volume udara kompresi pada saat silinder bergerak maju

$V = \pi/4 \times d^2 \times h$

$P_1.V \quad = P_2 \times \pi/4 \times d^2 \times h$

$1 \text{ bar}.V \quad = 6 \text{ bar} \times 0{,}786 \times (50\text{mm})^2 \times 500 \text{ mm}$

$V \quad = 5.892.857{,}143 \text{ mm}^3$

$V \quad = 5{,}9 \text{ dm}^3$ (liter)

Volume udara kompresi pada saat silinder bergerak mundur

$V = \pi/4 \times (d^2 – d_1^2) \times h$

$P_1.V \quad = P_2 \times \pi/4 \times (d^2 – d_1^2) \times h$

$1 \text{ bar}.V \quad = 6 \text{ bar} \times 0{,}786 \times \{(50\text{mm})^2 – (20\text{mm})^2 \times 500 \text{ mm}$

$V \quad = 4.949.999 \text{ mm}^3$

$V \quad = 4{,}95 \text{ dm}^3$ (liter)

Jadi konsumsi udara kompresi yang dibutuhkan silinder untuk bergerak maju dan mundur adalah 5,9 lt + 4,95 lt = 10,85 lt

Pemilihan Flow Rate Katub solenoid

Asumsikan spesifikasi Silinder sbb.

D = 50 mm

L = 500 mm

P = 6 bar

Silinder bergerak maju-mundur sebanyak 60 kali/menit

Solusi:

Konsumsi udara kompresi untuk 1 kali gerakan = 10,85 liter

Konsumsi udara kompresi untuk 60 kali gerakan per menit adalah

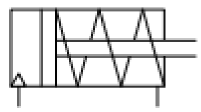
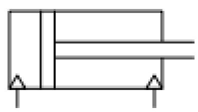
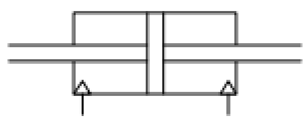
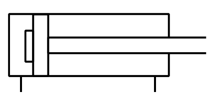
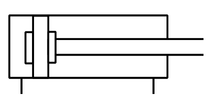
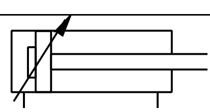
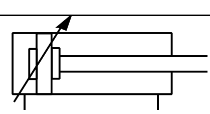
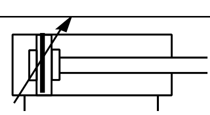
= 60 / menit x 10,85 liter = 651 liter / menit

Jadi pilih katub dengan flow rate = 651 liter / menit

Tugas 2.2.

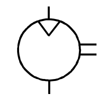
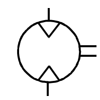
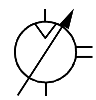
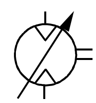
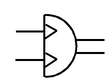
A. AKTUATOR LINIER

Lengkapi nama komponen aktuator berikut berdasarkan simbolnya!

SIMBOL	NAMA KOMPONEN/KETERANGAN
	
	
	
	
	
	
	
	

B. AKTUATOR GERAKAN PUTAR

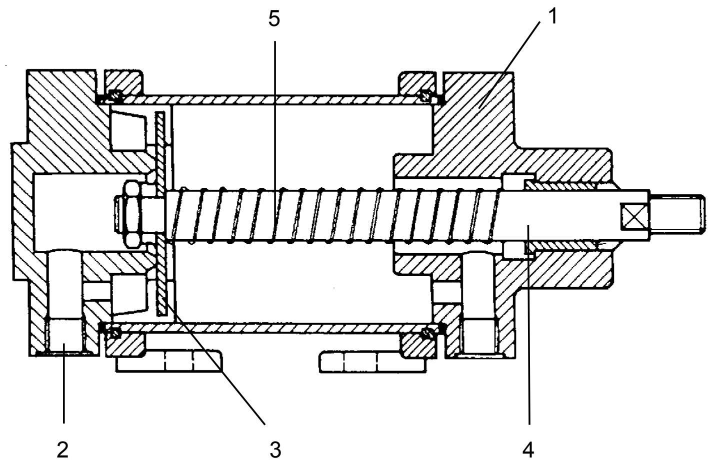
Sebutkan beberapa contoh penerapan/aplikasi sistem kendali yang menggunakan aktuator Motor Pneumatik berikut!

Nama Aktuator	Keterangan	Simbol
Motor Pneumatik	Putaran dalam satu arah, kapasitas tetap	
Motor Pneumatik	Putaran dalam dua arah, kapasitas tetap	
	Putaran dalam satu arah, kapasitas bervariasi.	
	Putaran dalam dua arah , kapasitas bervariasi.	
Motor Osilasi (Motor dengan derakan terbatas)	Aktuator putar lintasan terbatas. Putaran dalam dua arah.	

Tugas 2.3

Silinder Kerja Tunggal

1. Sebutkan bagian-bagian silinder kerja tunggal, seperti pada gambar berikut!



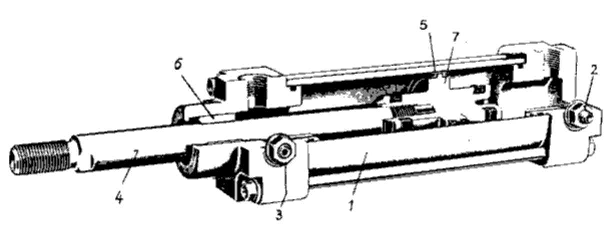
1. ....
2. ....
3. ....
4. ....
5. ....
6. ....

2. Lebih besar mana gaya yang dihasilkan silinder kerja tunggal pada saat maju atau mundur? Jelaskan !

3. Di mana silinder kerja tunggal digunakan?

Silinder Kerja Ganda

1. Sebutkan bagian-bagian silinder kerja ganda , seperti gambar berikut ini !



1. …...................................
2. …....................................
3. …...................................….......
4. …....................................
5. ....…......................
6. ....
7. ....

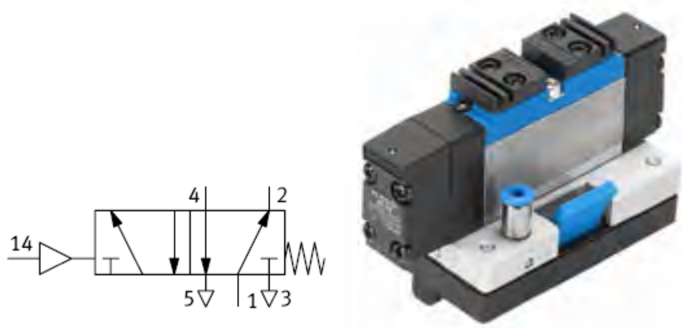
3. Bagaimana silinder dapat bergerak maju dan mundur ?

Karakteristik Silinder

2. Bandingkan gaya langkah mundur dengan gaya langkah maju pada silinder kerja ganda ! Mengapa demikian ?

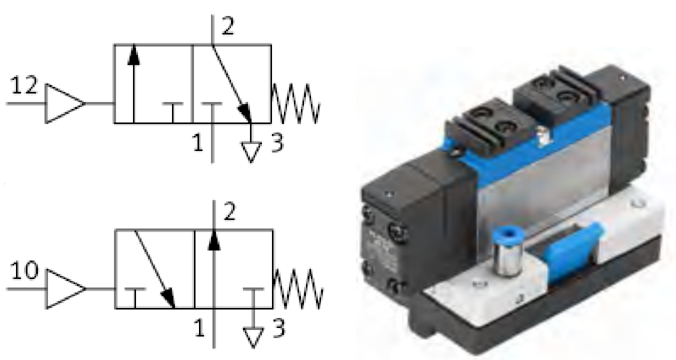
2.1.4 Katub Kendali Pnumatik

Katub kendali aliran atau *flow-control valve***,** mengendalikan aliran udara kempa, yang akan digunakan untuk menggerakkan aktuator. Katub kendali aliran memiliki sistem mekanik, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan secara jarak jauh “remote” melalui sinyal yang dikirimkan oleh kontroler. Gambar 2.13 memperlihatkan sebuah katub 5/2, dioperasikan oleh tenaga pnumatik dari satu sisi.



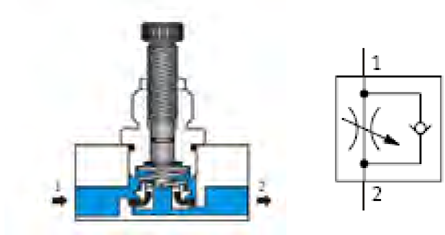
Gambar 2.13Katub 5/2, Aktuasi Pnumatik dari satu sisi

Gambar 2.14 memperlihatkan sebuah katub 3/2, dioperasikan oleh tenaga pnumatik dari satu sisi.



Gambar 2.14 Katub 3/2, Aktuasi Pnumatik dari satu sisi

Gambar 2.15 memperlihatkan katub pengatur aliran satu arah.



Gambar 2.15 Katub Pengatur Aliran Satu Arah

Gambar 2.16 memperlihatkan katub aktuasi ganda dengan fungsi AND (Dual pressure valve). Katub ini bekerja berdasarkan logika AND, yaitu bila sinyal kendali masuk dari dua sisi inputnya (1 dan 1/3), maka katubnya akan membuka. Bila udara tekan hanya masuk lewat salah satu input, maka katub tetap menutup.



Gambar 2.16 Katub Aktuasi Tekanan Ganda dengan fungsi AND

Gambar 2.17 memperlihatkan sebuah katub aktuasi ganda dengan fungsi OR (Shuttle valve). Katub Shuttle diaktifkan melalui 2 input (1 atau 1/3) sebagai logika OR (OR-Function). Bila salah satu atau kedua inputan menerima sinyal bersamaan, maka sinyal yang lebih tinggi yang akan mencapai output.



Gambar 2.17 Katub Aktuasi Tekanan Ganda (Shuttle) dengan Fungsi OR

Gambar 2.18 memperlihatkan sebuah katub pengatur tekanan dari satu sisi atau One-way flow control valve.

Katub ini terdiri dari kombinasi katub pengatur tekanan dan sebuah katub satu arah (non-return valve).Katub satu arah ini akan menghalangi aliran udara balik, sehingga udara balik akan mengalir melalui katub pengatur tekanan.



Gambar 2.18 Katub Pengatur Tekanan Dari Satu Arah

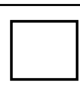
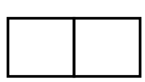
Secara lebih spesifik katup kendali pneumatik dibagi dalam beberapa kelompok yang dinamakan:

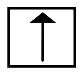
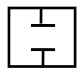
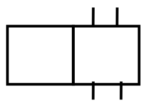
2.1.4.1 KATUP KONTROL ARAH (KKA)

Katup kontrol arah adalah bagian yang mempengaruhi jalannya aliran udara . Aliran udara akan lewat, terblokir atau membuang ke atmosfir tergantung dari lubang dan jalan aliran KKA tersebut. KKA digambarkan dengan jumlah lubang dan jumlah kotak. Lubang-lubang menunjukkan saluran -saluran udara dan jumlah kotak menunjukkan jumlah posisi.

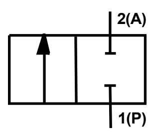
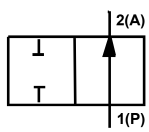
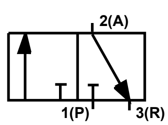
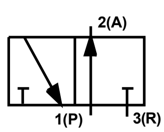
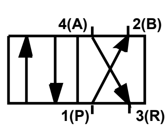
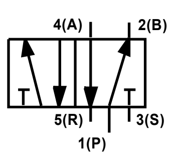
Cara Membaca Simbol katup pneumatik

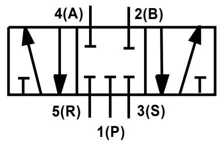
Cara membaca simbol katup pneumatik sebagai berikut :

	Kotak menunjukkan posisi pensakelaran katup
	Jumlah kotak menunjukkan jumlah posisi pensakelaran katup Contoh : - jumlah kotak 2 menunjukkan hanya 2 kemungkinan pensakelaran misal : posisi **ON** dan posisi **OFF**. - jumlah kotak 3 menunjukkan 3 kemungkinan pensakelaran misal : posisi **1 - 0 - 2**

	Garis menunjukkan lintasan aliran. Panah menunjukkan arah aliran
	Garis blok menunjukkan aliran tertutup (terblokir)
	Garis diluar kotak menunjukkan saluran masukan dan keluaran, digambar di posisi awal

Simbol-simbol katup kontrol arah sebagai berikut :

SIMBOL	NAMA KATUP
	KKA 2/2 , N/C
	KKA 2/2 , N/O
	KKA 3/2 , N/C
	KKA 3/2 , N/O
	KKA 4/2
	KKA 5/2

	KKA 5/3 , posisi tengah tertutup

Penomoran Pada Lubang

Sistem penomoran yang digunakan untuk menandai KKA sesuai dengan DIN ISO 5599. Sistem huruf terdahulu digunakan dan sistem penomoran dijelaskan sebagai berikut :

Lubang/Sambungan	DIN ISO 5599	Sistem Huruf
Lubang tekanan (masukan)	1	P
Lubang keluaran	2,4	B , A
Lubang pembuangan	3 (katup 3/2)	R (katup 3/2)
Lubang pembuangan	5 , 3 (katup 5/2)	R , S (katup 5/2)
Saluran pengaktifan :		
• membuka aliran 1 ke 2	12 (katup 3/2)	Z (katup 3/2)
• membuka aliran 1 ke 2	12 (katup 5/2)	Y (katup 5/2)
• membuka aliran 1 ke 4	14 (katup 5/2)	Z (katup 5/2)

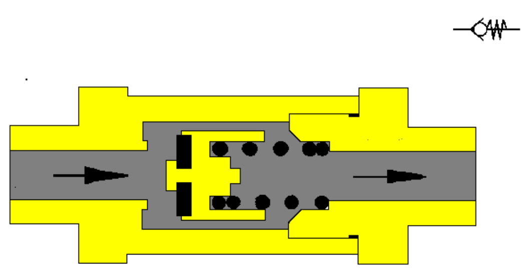
2.1.4.2 Katup Satu Arah

Katup satu arah adalah bagian yang menutup aliran ke satu arah dan melewatkannya ke arah yang berlawanan. Tekanan pada sisi aliran membebani bagian yang menutup dan dengan demikian meningkatkan daya perapatan katup.

Ada banyak variasi dalam ukuran dan konstruksi dikembangkan dari katup satu arah. Disamping itu katup satu arah dengan fungsi elemen yang lain membentuk elemen yang terpadu, seperti katup kontrol aliran satu arah, katup buangan cepat, katup fungsi “DAN”, katup fungsi “ATAU”.

Katup Cek (Check Valves)

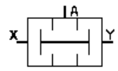
Katup satu arah dapat menutup aliran secara sempurna pada satu arah. Pada arah yang berlawanan, udara mengalir bebas dengan kerugian tekanan seminimal mungkin. Pemblokiran ke satu arah dapat dilakukan dengan konis (cones), bola, pelat atau membran.

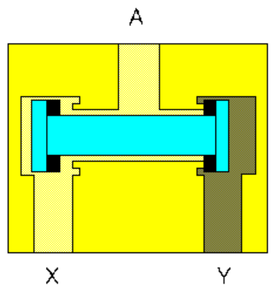


Gambar 2.19 : Katup Cek (Check Valves)

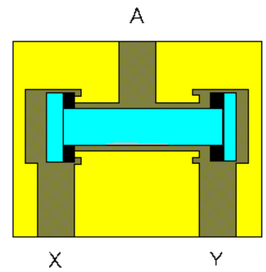
Katup Dua Tekanan / Katup Fungsi “ DAN “ (Two Pressure Valves)

Elemen-elemen pada 3 saluran penghubung yang mempunyai sifat satu arah dapat dipasang sebagai elemen penghubung sesuai arah aliran udara. Dua katup yang ditandai sebagai elemen penghubung mempunyai karakteristik logika yang ditentukan melalui dua sinyal masukan dan satu keluaran. Salah satu katup yang membutuhkan dua sinyal masukan untuk menghasilkan sinyal keluaran adalah katup dua tekanan (Two Pressure Valves) atau katup fungsi “DAN”.





Gambar 2.20a : Katup Fungsi “DAN” dengan input pada Y

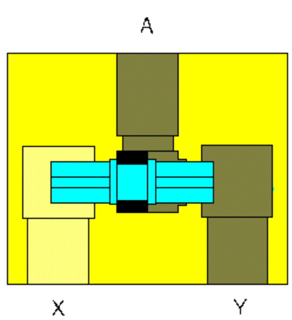


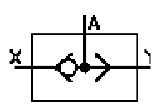
Gambar 2.20b : Katup Fungsi “DAN” dengan input pada X dan Y

Udara bertekanan hanya mengalir jika ke dua lubang masukan diberi sinyal. Satu sinyal masukan memblokir aliran. Jika sinyal diberikan ke dua sisi masukan (X dan Y), sinyal akan lewat ke luar. Jika sinyal masukan berbeda tekanannya, maka sinyal dengan tekanan yang lebih besar memblokir katup dan sinyal dengan tekanan yang lebih kecil yang mengalir ke luar sebagai sinyal keluaran. Katup dua tekanan pada umumnya digunakan untuk kontrol pengunci, kontrol pengaman, fungsi cek dan fungsi logika.

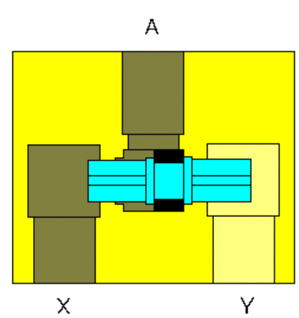
Katup Ganti / Katup Fungsi “ATAU” (Shuttle Valve)

Katup ini mempunyai dua masukan dan satu keluaran. Jika udara dialirkan melalui lubang pertama (Y), maka kedudukan seal katup menutup lubang masukan yang lain sehingga sinyal dilewatkan ke lubang keluaran (A). Ketika arah aliran udara dibalik (dari A ke Y), silinder atau katup terhubung ke pembuangan. Kedudukan seal tetap pada posisi sebelumnya karena kondisi tekanan.





Gambar 2.21a : Katup Fungsi “ATAU” dengan input pada Y



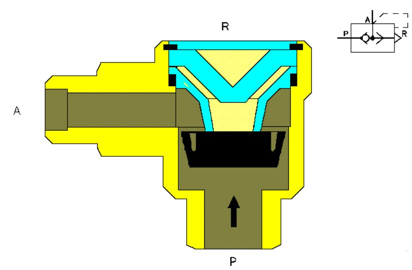
Gambar 2.22b : Katup Fungsi “ATAU” dengan input pada X

Katup ini disebut juga komponen fungsi “ATAU”. Jika silinder atau katup kontrol dioperasikan dari dua tempat atau lebih, katup ganti bisa digunakan.

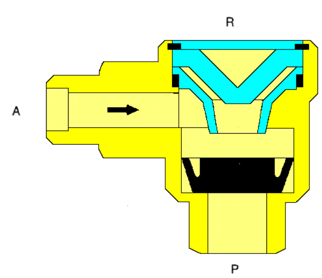
Pada contoh berikut menunjukkan sebuah silinder yang diaktifkan dengan menggunakan sebuah katup yang dioperasikan dengan tangan dan lainnya dipasang pada posisi yang berjauhan.

Katup Buangan-Cepat (Quick Exhaust Valve)

Katup buangan-cepat digunakan untuk meningkatkan kecepatan silinder. Prinsip kerja silinder dapat maju atau mundur sampai mencapai kecepatan maksimum dengan jalan memotong jalan pembuangan udara ke atmosfir. Dengan menggunakan katup buangan cepat, udara pembuangan dari silinder keluar lewat lubang besar katup tersebut.



Gambar 2.22 : Katup buangan cepat, udara mengalir ke silinder



Gambar 2.23 : Katup buangan-cepat, udara pembuangan dari silinder

Katup buangan cepat mempunyai sambungan udara masuk P, keluaran A dan lubang pembuangan R. Aliran udara masuk lewat P dan keluar bebas melaui terbukanya komponen katup cek. Lubang R terblokir oleh piringan .

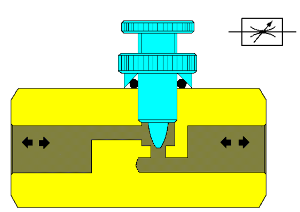
Jika udara disuplai dari lubang A, piringan akan menutup lubang P dan udara keluar ke atmosfir lewat lubang R. Peningkatan kecepatan tersebut dibandingkan dengan pembuangan udara lewat katup kontrol akhir. Cara tersebut mudah dilaksanakan dengan jalan memasang katup buangan-cepat langsung pada silinder atau sedekat mungkin dengan silinder.

2.1.4.3 Katup Kontrol Aliran

Katup kontrol aliran mempengaruhi volume aliran udara bertekanan yang keluar pada dua arah. Bila katup cek dipasang bersama-sama dengan katup ini, maka pengaruh kontrol kecepatan hanya pada satu arah saja. Gabungan katup ini dapat dipasang langsung pada lubang masukan atau keluaran silinder atau pada lubang pembuangan katup kontrol arah.

Katup Cekik , Dua Arah (Throttle Valves)

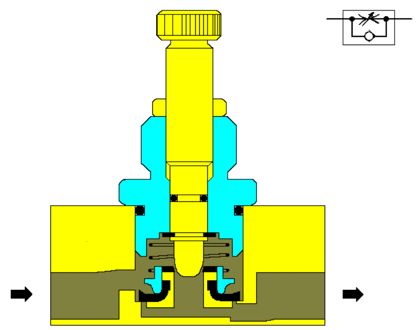
Katup cekik pada keadaan normal dapat diatur dan pengesetannya dapat dikunci pada posisi yang diinginkan. Karena sifat udara yang kompresibel, karakteristik gerakan silinder tergantung dari beban dan tekanan udara. Oleh karena itu katup kontrol aliran digunakan untuk mengontrol kecepatan silinder dengan berbagai harga yang bervariasi. Hati-hati agar tidak menutup katup ini penuh, karena akan menutup udara ke sistem.



Gambar 2.24 : Katup Cekik

Katup Kontrol Aliran, Satu Arah.

Dengan konstruksi katup seperti ini, aliran udara lewat pencekikan (penyempitan) hanya satu arah saja. Blok katup cek akan memblokir aliran udara, sehingga aliran udara hanya lewat pencekikan. Pada arah yang berlawanan udara bebas mengalir lewat katup cek. Katup ini digunakan untuk mengatur kecepatan silinder.



Gambar 2.25 : Katup Kontrol Aliran, Satu Arah

Ada dua jenis rangkaian pencekikan aliran udara untuk silinder kerja ganda :

- Pencekikan udara masukan.
- Pencekikan udara buangan.

2.1.4.4 Katup Tekanan

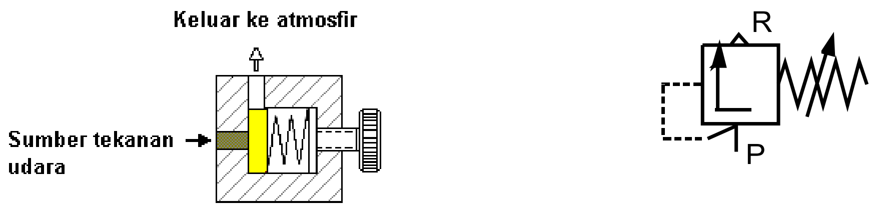
Macam-Macam Katup Tekanan

Katup tekanan adalah elemen yang sangat mempengaruhi tekanan atau dikontrol oleh besarnya tekanan. Katup tekanan dapat dibagi dalam 3 kelompok sebagai berikut :

* Katup pengatur tekanan (Pressure Regulating Valve)
* Katup pembatas tekanan (Pressure Limiting Valve)
* Katup sakelar tekanan (Sequence Valve)

a. Katup Pembatas Tekanan

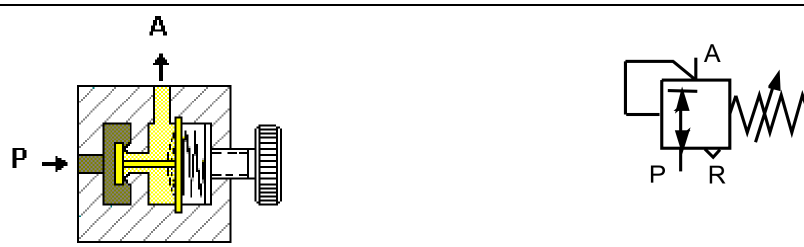
Katup ini terutama dipakai sebagai katup pengaman (katup tekanan lebih). Katup ini mencegah terlampauinya tekanan maksimal yang ditolerir dalam sistem. Apabila nilai dalam tekanan maksimal tercapai pada lubang masukan, maka lubang keluaran pada katup akan terbuka dan udara bertekanan dibuang ke atmosfir. Katup tetap terbuka sampai katup ditutup oleh gaya pegas di dalam setelah mencapai tekanan kerja yang diinginkan.



Gambar 2.26 : Katup Pembatas Tekanan

b. Katup Pengatur Tekanan

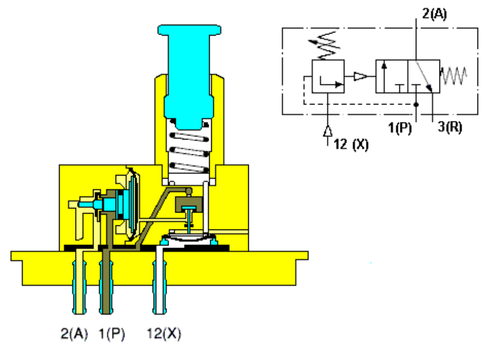
Katup pengatur tekanan diuraikan di bagian perlengkapan pemeliharaan udara (Servis Unit). Yang penting dari unit ini adalah untuk menjaga tekanan yang stabil, walaupun dengan tekanan masukan yang berubah-ubah. Tekanan masukan harus lebih besar daripada tekanan keluaran yang diinginkan.



Gambar 2.27 : Katup Pengatur Tekanan

c. Katup Sakelar Tekanan

Katup ini bekerja sesuai dengan prinsip yang sama seperti katup pembatas tekanan. Katup akan terbuka apabila tekanan yang diatur pada pegas terlampaui. Udara mengalir dari 1(P) ke 2(A). Lubang keluaran 2(A) terbuka apabila sudah terbentuk tekanan yang diatur pada saluran kontrol 12(X). Piston kontrol membuka jalur 1(P) ke 2(A).



Gambar 2.28 : Katup Sakelar Tekanan

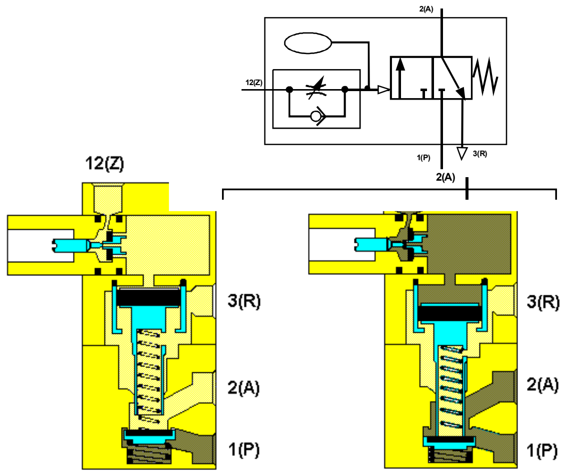
2.1.4.5 Katup Tunda Waktu

Macam-Macam Katup Tunda Waktu

Katup tunda waktu adalah kombinasi/gabungan dari katup 3/2, katup kontrol aliran satu arah, dan tangki udara. Katup 3/2 dapat sebagai katup dengan posisi normal membuka (NO) atau menutup (NC). Jika hanya menggunakan katup 3/2 dan katup kontrol aliran satu arah, tunda waktunya biasanya berkisar antara 0-30 detik. Dengan menggunakan tambahan tangki udara, waktu dapat diperlambat. Perubahan waktu secara akurat dijamin, jika udara bersih dan tekanan relatif stabil.

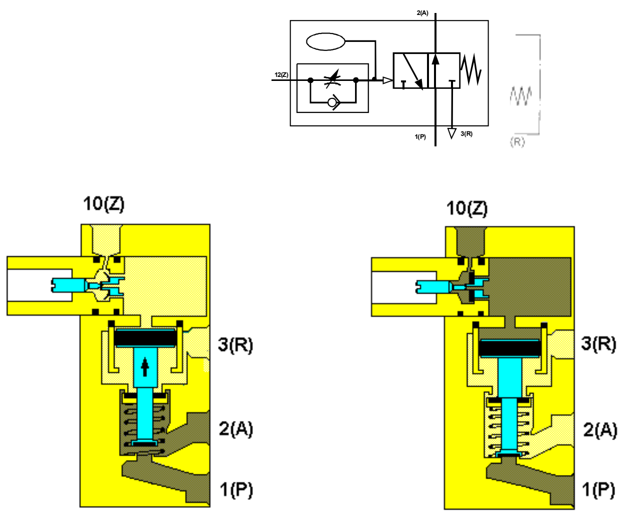
a. Katup Tunda Waktu NC

Berdasarkan gambar diagram dibawah, udara bertekanan dimasukkan ke katup pada saluran 1(P). Aliran udara kontrol masuk katup pada saluran 12(Z). Udara ini akan mengalir melalui katup kontrol aliran satu arah dan tergantung pada setting sekrup pencekik, lebih besar atau lebih kecil dari jumlah aliran udara setiap unit waktunya ke dalam tangki udara. Ketika tekanan kontrol yang diperlukan telah terpenuhi di dalam tangki udara, bantalan pemandu katup 3/2 digerakkan turun ke bawah. Hal ini akan memblok saluran 2(A) ke 3(R). Piringan katup diangkat dari kedudukan semula dan kemudian udara dapat mengalir dari 1(P) ke 2(A). Waktu yang diperlukan untuk tekanan mencapai nominal dalam tangki udara adalah sama dengan waktu tunda kontrol pada katup.



Gambar 2.29 : Katup Tunda Waktu NC

b. Katup Tunda Waktu NO



Gambar 2.30 : Katup Tunda Waktu NO

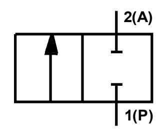
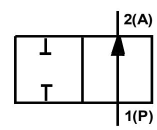
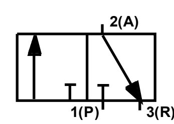
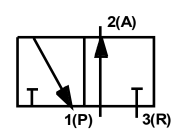
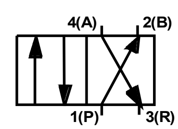
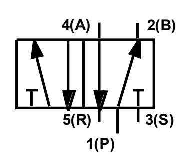
Katup tunda waktu normal membuka memiliki katup 3/2 dengan posisi NO. Pada posisi inisial output 2(A) adalah aktif. Ketika katup dihubungkan dengan 10(Z) output 2(A) dibuang. Akibatnya sinyal keluaran akan segera mati setelah setting tunda waktu tercapai.

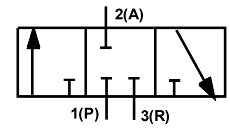
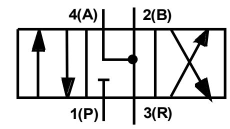
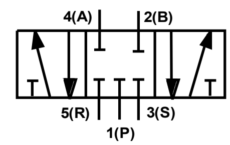
Tugas 2.4

Buatlah rangkaian pneumatik sederhana dengan menggunakan berbagai komponen kendali pneumatik di atas berdasarkan prinsip kerja/operasi komponen tersebut !

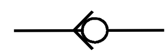
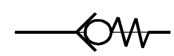
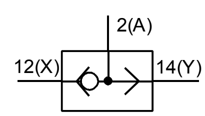
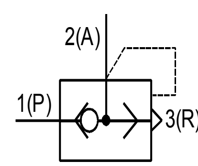
Simbol-simbol yang digunakan dalam sistem pneumatik berdasarkan standarDIN/ISO 1219.

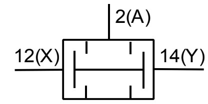
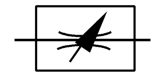
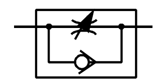
Tabel 2.2 Katup Kontrol Arah

Nama Komponen	Keterangan	Simbol
Katup 2/2	• Mempunyai 2 lubang (masukan dan keluaran) dan 2 posisi hubungan katup • Lubang keluaran tertutup. Pada posisi normal tertutup , tidak aliran yang keluar (konfigurasi NC.) • Pada posisi normal terbuka, ada aliran keluar (konfigurasi NO)	 
Katup 3/2	• Mempunyai 3 lubang (masukan , keluaran dan pembuangan) dan 2 posisi hubungan katup • Pada posisi normal, tidak ada aliran udara yang keluar (konfigurasi NC). • Pada posisi normal , ada aliran udara yang keluar (konfigurasi NO).	 
Katup 4/2	• Mempunyai 4 lubang (masukan , keluaran dan 1 pembuangan) dan 2 posisi hubungan katup .	
Katup 5/2	• Mempunyai 5 lubang.(masukan , keluaran dan 2 pembuangan) dan 2 posisi hubungan katup.	

Katup 3/3	• Mempunyai 3 lubang (masukan, keluaran dan pembuangan) dan 3 posisi hubungan katup. • Pada posisi normal (tengah) tertutup	
Katup 4/3	• Mempunyai 4 lubang (masukan, keluaran dan pembuangan) dan 3 posisi hubungan katup • Pada posisi normal (tengah) lubang keluaran sambung dengan pembuangan.	
Katup 5/3	• Mempunyai 5 lubang (masukan, keluaran dan pembuangan) dan 3 posisi hubungan katup • Pada posisi normal (tengah) tertutup	

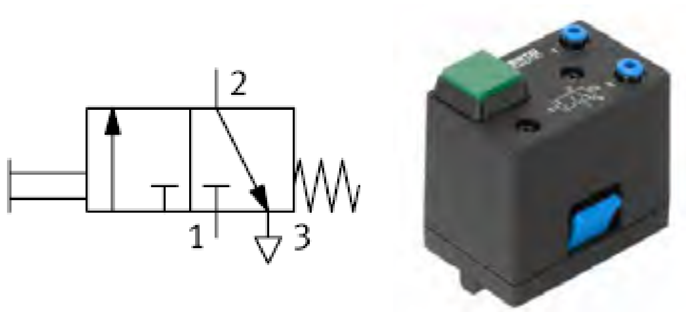
Tabel 2.3 Katup-katup Lainnya

Nama Komponen	Keterangan	Simbol
Katup cek	• Tanpa pegas. Lubang keluaran terbuka jika tekanan masukan lebih besar daripada tekanan keluaran • Dengan pegas. Terbuka jika tekanan masukan lebih besar daripada tekanan keluaran (termasuk gaya pegas).	 
Katup fungsi " ATAU" (Shuttle Valve)	Lubang keluaran akan bertekanan, bila salah satu atau kedua lubang masukan bertekanan.	
Katup pembuang cepat (Quick Exhaust Valve)	Bila lubang masukan disuplai oleh udara bertekanan, lubang keluaran akan membuang udara secara langsung ke atmosfir.	

Katup fungsi "DAN" (Two-pressure Valve)	Lubang keluaran hanya akan bertekan an bila udara bertekanan disuplai ke kedua lubang masukan.	
Katup kontrol aliran (Flow Control Valve)	Aliran udara keluar dapat diatur , dengan memutar pengaturnya.	
Katup kontrol aliran satu arah (One-way Flow Control Valve)	Katup cek dengan katup kontrol aliran. Katup kontrol aliran dengan arah aliran satu arah dan dapat diatur.	

2.1.5 Elemen Input

Elemen input dalam sistem kendali pnumatik dapat berfungsi sebagai antarmuka bagi operator (misalnya sakelar tombol tekan dan sakelar pemilih) dan juga berfungsi sebagai piranti pendeteksi (misalnya sakelar limit dan sakelar proksimiti). Gambar 2.31 sampai gambar 2.37 memperlihatkan berbagai piranti elemen input sistem kendali pnumatik.



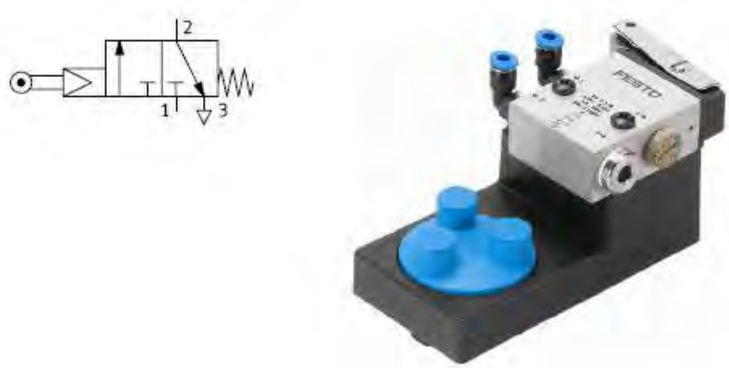
Gambar 2.31 Katub 3/2 dengan Aktuasi Tombol Tekan, Normally Closed



Gambar 2.32 Katub 3/2 dengan aktuasi Tombol Tekan, Normally Open

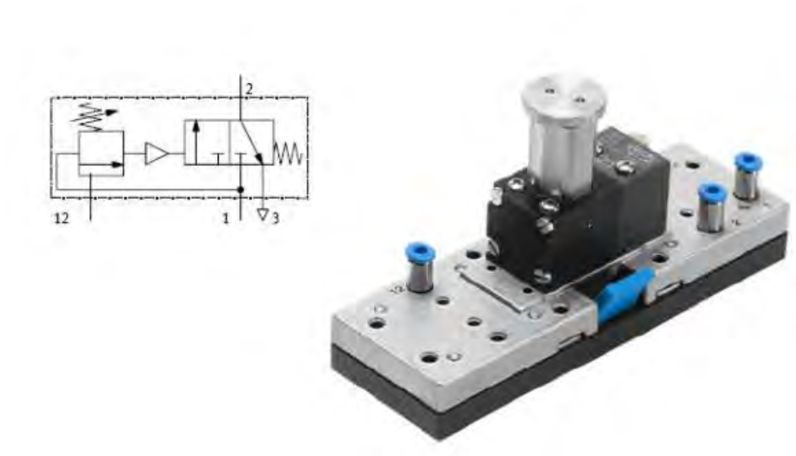


Gambar 2.33 Katub 3/2 dengan aktuasi Sakelar Seleksi



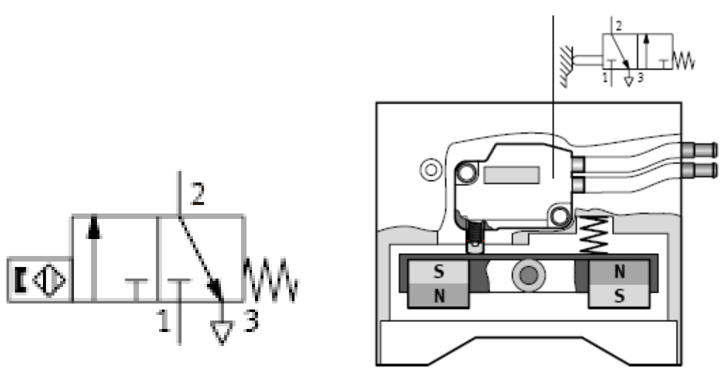
Gambar 2.34 Katub 3/2 dengan aktuasi Sakelar Limit roller, Normally Closed

Gambar 2.35 memperlihatkan pressure sequence valve. Pressure sequence valve (sequence valve) akan berbalik begitu pilot pressure telah mencapai port 12, dan kembali ke posisi awal via return spring setelah signal dilepas. Tekanan control signal diatur melalui pressure adjustment screw.



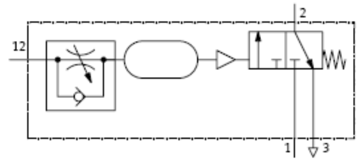
Gambar 2.35 Katub Tekanan sekuensial

Gambar 2.36 memperlihatkan sensor proksimiti pnumatik.



Gambar 2.36 Sensor Proksimiti

Gambar 2.36 memperlihatkan katub tunda waktu (time delay valve)

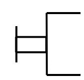
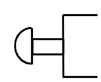
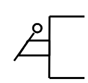
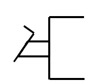
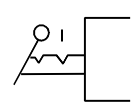


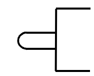
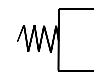
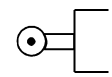
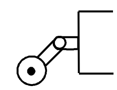
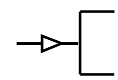
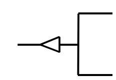
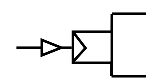
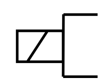
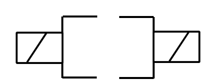
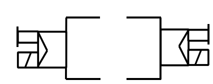
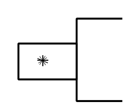


Gambar 2.37 Katub dengan Penudaan Waktu

Katub tunda waktu (Time delay valve) di aktuasi oleh sinyal pnumatik melalui *port 12* setelah preset tunda waktunya delay tercapai. Katub akan kembali ke posisi normalnya melalui tekanan pegas (return spring) pada saat sinyal dilepaskan. Waktu tunda diatur melalui sekrup pengatur (regulating screw).

Tabel 2.4 Simbol Jenis Pengaktifan

Jenis Pengaktifan	Keterangan	Simbol
Kerja manual	Umum	
	Tombol tekan	
	Tuas	
	Pedal kaki	
	Tuas (putar) dengan pengunci (tidak reset otomatis)	

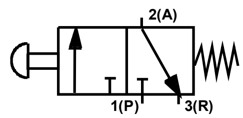
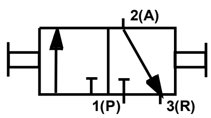
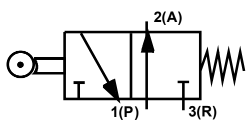
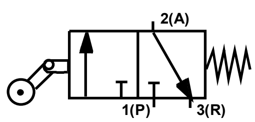
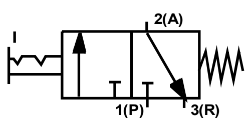
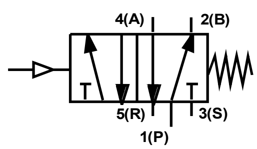
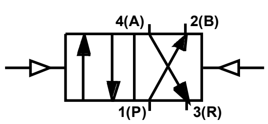
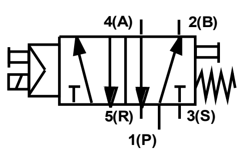
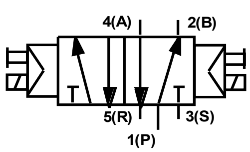
Kerja mekanik	Plunjer	
	Pegas	
	Rol	
	Rol, idle (kerja hanya ke satu arah saja)	
Kerja pneumatik	Kerja langsung oleh tekanan kerja	
	Tekanan kembali (pressure relief)	
	Tidak langsung melalui katup pilot	
Kerja listrik	Solenoid tunggal	
	Solenoid ganda	
Kombinasi	Solenoid ganda dan kerja pilot dengan tambahan manual	
	Simbol umum * Tanda ini menunjukan keterangan pengaktifan katup tersebut.	

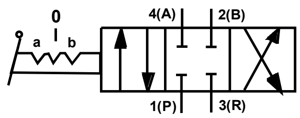
Tugas 2.5

Bagaimanakah konstruksi dan prinsip kerja “Counter Pneumatik”.

Tugas 2.6

Sebutkan arti simbol pneumatik berikut ini!

Simbol	Arti Simbol
	
	
	
	
	
	
	
	
	

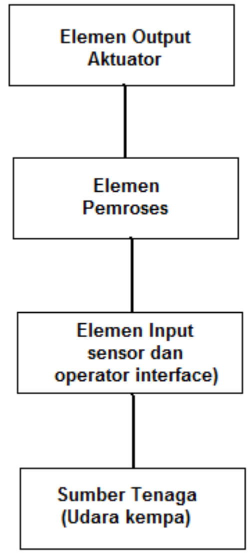
	

2.2 Diagram Alir dan Tata Letak Komponen

Diagram rangkaian harus digambar dengan tata cara penggambaran yang benar. Karena hal ini akan memudahkan seseorang untuk membaca rangkaian, sehingga mempermudah pada saat merangkai atau mencari kesalahan pada sistem kendali pnumatik. Tata letak komponen diagram rangkaian harus disesuaikan dengan diagram alir dari mata rantai kendali yaitu sebuah sinyal harus mulai mengalir dari bawah menuju ke atas dari gambar rangkaian.

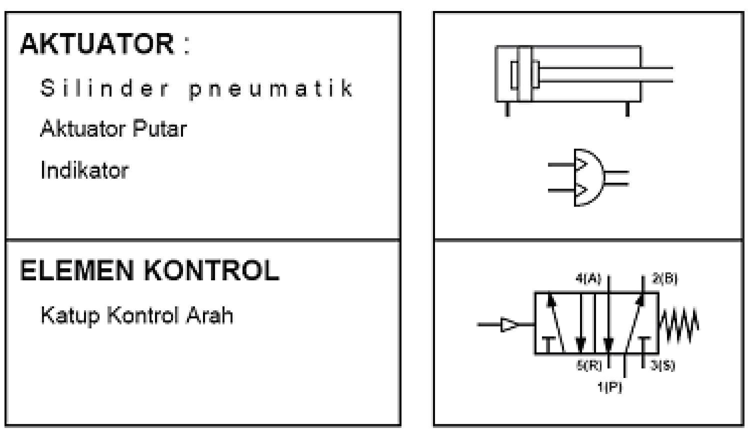
Yang dimaksud diagram skematik adalah diagram rangkaian yang digambar tanpa mempertimbangkan lokasi tiap elemen kendali yang digunakan. Dalamdiagram ini yang lebih dipentingkan adalah fungsi atau logika kendalinya. Dalam sistem kendali pnumatik dianjurkan bahwa semua silinder dan katup kontrol arah digambarkan secara horisontal dengan silinder bergerak dari kiri ke kanan, sehingga rangkaian lebih mudah dimengerti.

Diagram alir mata rantai kendali pnumatik dan elemen-elemennya digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.38 Diagram Alir sistem Kendali Pnumatik

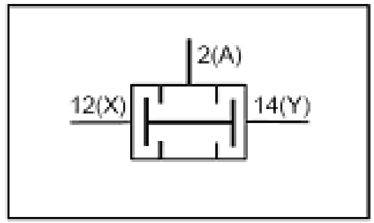
Bagian akhir atau tujuan akhir dari diagram alir adalah elemen kerja dan elemen kontrol akhir, seperti berikut:



Kemudian di bagian bawah dari aktuator dan elemen kontrol akhir adalah elemen pemroses, seperti berikut:

PROSESOR :

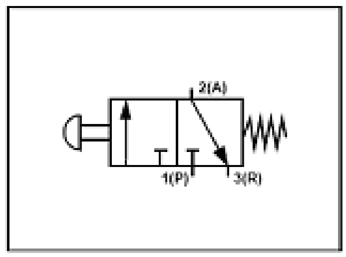
- Katup Kontrol Arah
- Elemen Logika
- Katup Kontrol Tekanan



Selanjutnya bagian bawahnya lagi merupakan bagian dari elemen masukan, sebagai berikut:

SENSOR :

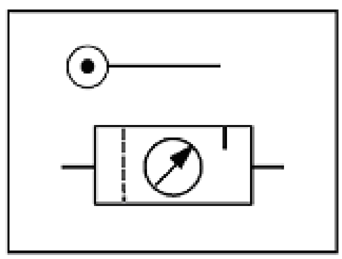
- Katup Kontrol Arah
- Katup Batas
- Tombol
- Sensor Proksimitas



Dan bagian yang paling bawah merupakan bagian paling vital yaitu sumber energi, sebagai berikut:

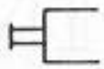
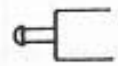
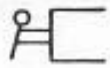
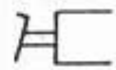
PASOKAN ENERGI :

- Kompresor
- Tangki
- Pengatur Tekanan
- Peralatan Pelayanan Udara

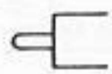
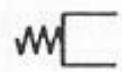
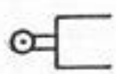
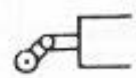


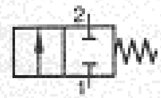
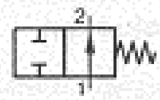
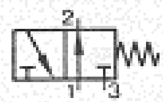
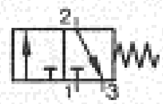
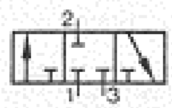
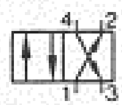
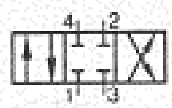
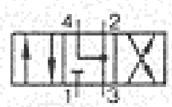
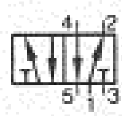
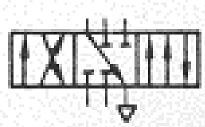
Desain sirkit dalam sistem kendali pnumatik dibuat sedemikian rupa semata-mata untuk memudahkan dan sebagai acuan siapapun juga yang akan menggunakan atau merancang sistem kendali penumatic

1. Manual actuation

General 	By push button 
By lever 	By pedal 

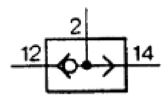
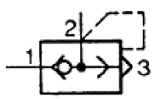
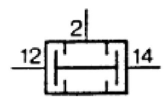
2. Mechanical actuation

By plunger 	By spring 
By roller lever 	By roller lever with idle return 

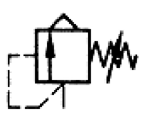
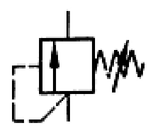
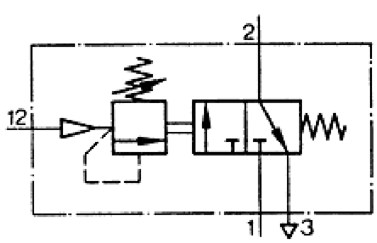
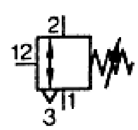
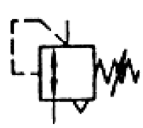
Designation	Normal position	Circuit symbol
2/2-way valve	Closed	
2/2-way valve	Open	
3/2-way valve	Closed	
3/2-way valve	Open	
3/3-way valve	Mid-position closed	
4/2-way valve	One line supplying air One line exhausted	
4/3-way valve	Mid-position closed	
4/3-way valve	Mid-position A and B exhausted Setting position	
5/2-way valve	Two exhausts	
6/3-way valve		

The designation of a valve depends on the number of connections it controls and the number of switching positions.

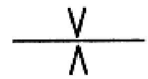
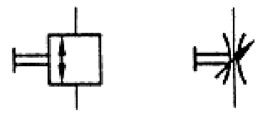
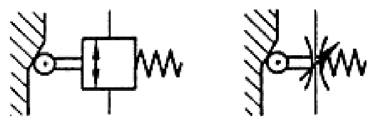
Non-return valves (check valves)

Non-return-valve without spring 	Non-return valve with spring 
Piloted non-return valve 	Shuttle valve 
Quick exhaust valve 	Dual-pressure valve (not standardised) 

Pressure control valves

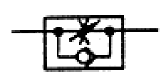
Pressure limiting valve, adjustable 	Sequence valve, adjustable 
Sequence valve with exhaust (3-way function), adjustable (not standardised) 	Pressure regulator, without vent hole, adjustable 
	Pressure regulator with vent hole, adjustable 

Flow control valves

Throttle valve with constant restriction 	Diaphragm valve with constant restriction 
Throttle valve, adjustable, either direction 	Throttle valve, adjustable, manual actuation 
Throttle valve, adjustable, mechanical actuation against a reset spring 	

Shut-off valve, simplified representation 

Flow control valve with non-return valve connected in parallel

One-way flow control valve, adjustable 	Diaphragm flow control valve, adjustable 

2.3 Penandaan Elemen kontrol

Penandaan tiap-tiap elemen kontrol untuk mengetahui dimana lokasi elemen tersebut berada. Ada dua macam penandaan yang telah dikenal dan sering digunakan yaitu :

1. penandaan dengan angka
2. penandaan dengan huruf

Penandaan Dengan Angka

Disini ada beberapa kemungkinan untuk menandai dengan angka. Dua sistem yang sering digunakan yaitu :

1. Nomor seri, Sistem ini sebaiknya untuk kontrol yang rumit .
2. Penandaan yang disusun dari nomor grup dan nomor seri dengan grup, misalnya 4.12 artinya elemen 12 pada grup 4

Klasifikasi grup :

Grup 0 : semua elemen sumber energi ditandai dengan angka depan 0

Grup 1, 2, 3, … : penandaan dari satu mata rantai kontrol (grup).

Sistem untuk nomor seri :

.0 : elemen kerja

.1 : elemen kontrol

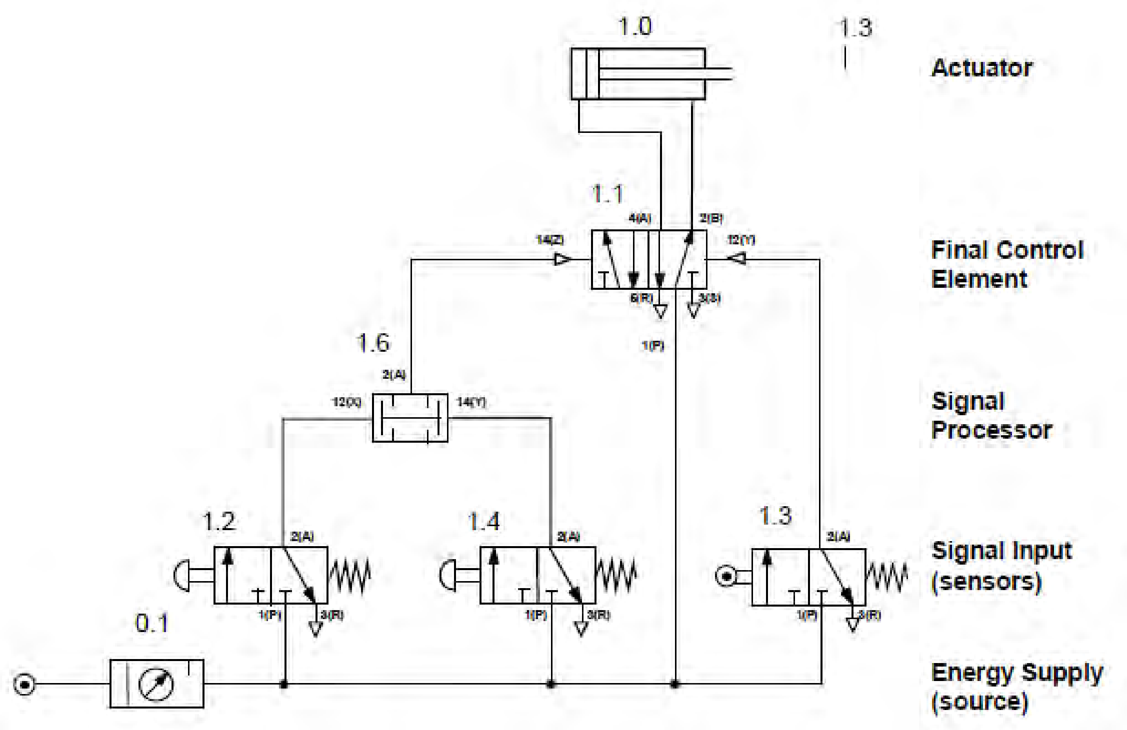
.2, .4 : semua elemen yang mempunyai pengaruh pada gerakan maju, ditandai dengan nomor seri genap.

.3 , .5 : semua elemen yang mempunyai pengaruh pada gerakan mundur, ditandai dengan nomor seri gasal.

.01, .02 : elemen antara elemen kontrol dan elemen kerja yaitu katup kontrol aliran dan katup buangan-cepat.

Sistem penandaan berdasarkan pada sistem nomor grup mempunyai keuntungan bahwa dalam praktiknya seorang perawatan dapat mengenali pengaruh dari sinyal dari nomor pada masing-masing komponen. Sebagai contoh : jika terjadi kegagalan pada silinder 2.0, maka dapat diasumsikan bahwa penyebabnya dapat

ditemukan pada grup 2, oleh karena itu komponenkomponen yang mempunyai tanda angka pertama 2 harus diperiksa. Gambar berikut menunjukkan penandaan elemen dari sebuah mata rantai kontrol.

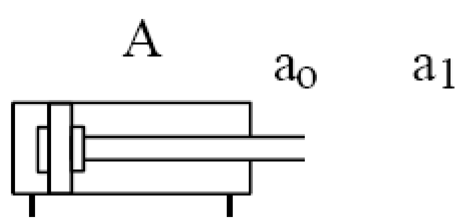


Gambar 2.39 Contoh sistem penandaan

Karena rangkaian hanya terdiri dari satu grup, maka semua elemen angka pertama bertanda 1, artinya lokasinya berada pada grup 1. Silinder ditandai dengan angka 1.0. Katup kontrol akhir ditanda dengan angka 1.1. Katup-katup yang menyebabkan silinder bergerak maju ditandai dengan angka : 1.2, 1.4 dan 1.6. Sedangkan katup yang menyebabkan silinder bergerak mundur ditandai dengan angka 1.3. Sumber energi ditandai 0.1.

Penandaan Dengan Huruf

Tipe ini digunakan terutama pada rangkaian yang dikembangkan secara metodik. Untuk pemakaian yang luas, tipe ini meliputi kalkulasi dan daftar yang dapat dilakukan lebih mudah dan lebih jelas jika menggunakan huruf. Elemen kerja ditandai dengan huruf besar, elemen sinyal dan *limit switch* ditandai dengan huruf kecil. Bertolak belakang dengan tipe terdahulu, elemen sinyal dan *limit switch* tidak ditandai ke dalam kelompok grup. Lokasi tipe ini seperti diilustrasikan pada gambar berikut :



A, B, C… : tanda dari elemen-elemen kerja

ao, bo, co… : tanda dari limit switch yang digerakkan pada posisi belakang silinder A, B,C ….

a1, b2, c3… : tanda dari limit switch yang digerakkan pada posisi batang piston ke depan dari silinder A, B,C ….

Keuntungan dari tipe ini adalah dapat dengan segera diketahui komponen sinyal yang sedang digerakkan jika silinder bergerak ke posisi yang dituju. Misalnya, gerakan A+ menunjukkan limit switch a1 yang diperintahkan bekerja, dan gerakan A- menunjukkan limit switch ao yang diperintahkan bekerja.

Dalam praktiknya, penandaan elemen-elemen suatu rangkaian pneumatik menggunakan kombinasi angka dan huruf.

Rangkuman

Untuk menyediakan *continuing performance* dari sistem kontrol pnumatik dan *working element* yang digunakannya, perlu ada jaminan bahwa udara kempa yang akan digunakan untuk sistem pnumatik harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

- Tekanan kerja sesuai standar
- Udara kempa harus kering tidak mengandung uap air, dan
- Bersih dari kotoran.

Pengalaman praktek menunjukkan, untuk alasan ekonomi, tekanan operasi sebesar 6 bar dapat digunakan. Biasanya rugi tekanan berkisar 10 hingga 50 kPa (0,1 – 0,5 bar) yang disebabkan oleh berbagai kondisi, misalnya adanya bengkokan pipa dan panjang pipa, tahanan pipa dan adanya kebocoran. Sehingga untuk mengatasi adanya kerugian tekanan, maka udara kempa yang tersimpan di dalam kompresor harus berikisar 6,5 – 7 bar.

Untuk menyediakan *continuing performance* dari sistem kontrol pnumatik dan *working element* yang digunakannya, perlu ada jaminan bahwa udara kempa yang akan digunakan untuk sistem pnumatik harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

- Tekanan kerja sesuai standar
- Udara kempa harus kering tidak mengandung uap air, dan
- Bersih dari kotoran.

Pengalaman praktek menunjukkan, untuk alasan ekonomi, tekanan operasi sebesar 6 bar dapat digunakan. Biasanya rugi tekanan berkisar 10 hingga 50 kPa (0,1 – 0,5 bar) yang disebabkan oleh berbagai kondisi, misalnya adanya bengkokan pipa dan panjang pipa, tahanan pipa dan adanya kebocoran. Sehingga untuk mengatasi adanya kerugian tekanan, maka udara kempa yang tersimpan di dalam kompresor harus berikisar 6,5 – 7 bar.

Dari berbagai piranti dalam sistem pnumatik, yang perlu mendapat perhatian lebih adalah *compressor*, *Filter & dryer*.

Actuator melakukan banyak pekerjaan dalam hal membangkitkan berbagai pergerakan misalnya cilinder dan motor pnumatik. Actuator merupakan piranti terakhir dari untaian kontrol. Aktuator mengubah control signal ke dalam suatu kerja tertentu. Contoh *actuator* yang banyak dijumpai di dalam industrial automation, yaitu *Cylinders, motors, lighting devices, heating devices, visual and acoustic alarm devices*, dan lain-lainnya.

Dilihat dari jenis pergerakannya, maka actuator dapat dikelompokkan menjadi 3 main areas, yaitu

- Linear motion
- swivel motion
- rotary motion
- End effectors

Katub kendali aliran atau *flow-control valve*, mengendalikan aliran udara kempa, yang akan digunakan untuk menggerakkan aktuator. Katub kendali aliran memiliki sistem mekanik, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan secara jarak jauh "remote" melalui sinyal yang dikirimkan oleh kontroler.

Jenis katub kendali antara lain, Katub 5/2, Aktuasi Pnumatik dari satu sisi, Katub 3/2, Aktuasi Pnumatik dari satu sisi, Katub Pengatur Aliran Satu Arah, Katub Aktuasi Tekanan Ganda (Shuttle) dengan Fungsi OR, dan Katub Pengatur Tekanan Dari Satu Arah

Elemen input dalam sistem kendali pnumatik dapat berfungsi sebagai antarmuka bagi operator (misalnya sakelar tombol tekan dan sakelar pemilih) dan juga berfungsi sebagai piranti pendeteksi (misalnya sakelar limit dan sakelar proksimiti). Jenis piranti input antara lain, Katub 3/2 dengan Aktuasi Tombol Tekan, Normally Closed, Katub 3/2 dengan aktuasi Tombol Tekan, Normally Open, Katub 3/2 dengan aktuasi Sakelar Seleksi, Katub 3/2 dengan aktuasi Sakelar Limit roller, Normally Closed, Katub Tekanan sekuensial, Sensor Proksimiti, dan Katub dengan Penudaan Waktu.

Evaluasi

1. Sebutkan komponen apa saja yang perlu dipertimbangkan untuk membangun sistem catu udara yang memberikan jaminan mutu sistem?

   ....

   ....

2. berapa desain tekanan udara kempa untuk keperluan sistem pnumatik?

   ....

   ....

3. Jelaskan istilah service air unit?

   ....

   ....

4. Jelaskan tipe kompresor yang lazimdigunakan pada sistem pnumatik?

   ....

   ....

5. Jelaskan aktuator pnumatik?

   ....

   ....

   ....

6. Jelaskan katub pnumatik?

   ....

   ....

   ....

7. Jelaskan piranti input pada sistem pnumatik!

   ....

   ....

   ....

8. Jelaskan struktur dan diagram alir sistem pnumatik?

   ....

   ....

   ....

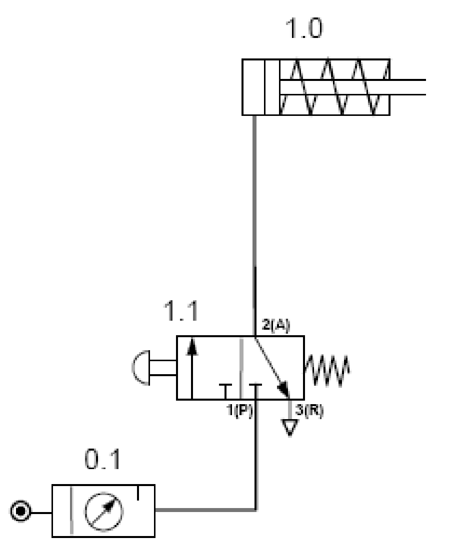
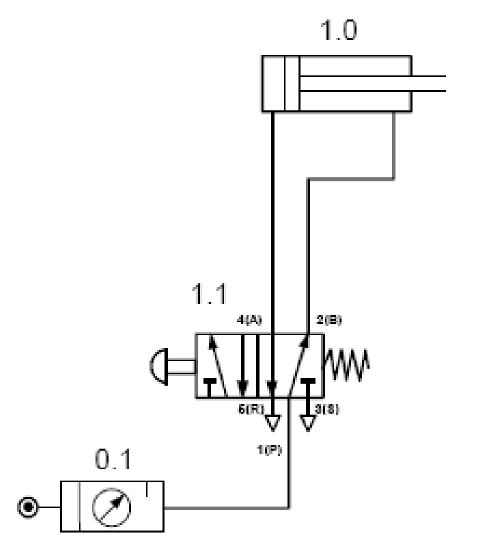
   ....

Lembar Kerja 2

Praktikum 1 : PengontrolanSilinder dengan Sistem Langsung

Kontrol langsung adalah kontrol yang memberi perintah langsung pada aktuator. Kontrol langsung hanya dipilih jika volume silinder tidak besar, dan dalam proses perubahan dikontrol oleh satu elemen sinyal.

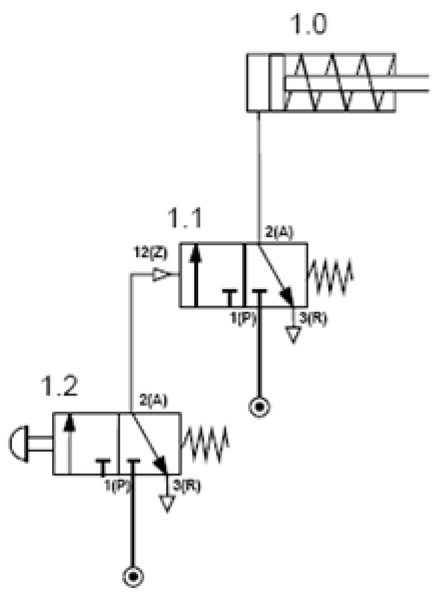
Menggerakkan silinder adalah salah satu pertimbangan yang penting dalam pengembangan solusi dari sistem kontrol. Energi pneumatik dikirim ke Silinder melalui sebuah katup tombol tekan. Rangkaian untuk keperluan tersebut dapat dikembangkan sebagai berikut.

a. Kontrol langsung silinder kerja tunggal	**b. Kontrol langsung silinder kerja ganda**
	

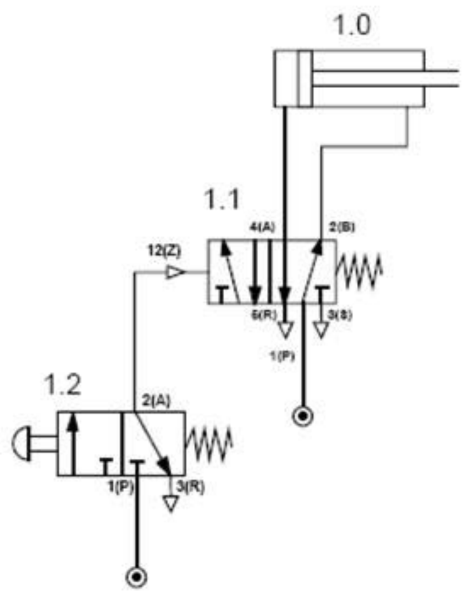
Praktikum 2: Pengontrolan Silinder dengan Sistem Tak Langsung

Silinder yang keluar dan masuk dengan cepat atau silinder dengan diameter piston besar memerlukan jumlah udara yang banyak. Untuk pengontrolannya harus dipasang sebuah katup kontrol dengan ukuran yang besar juga. Jika Tenaga yang diperlukan untuk mengaktifkan katup tidak mungkin dilakukan secara manual karena terlalu besar, maka harus dibuat rangkaian pengontrol tidak langsung. Disini melalui sebuah katup kedua yang lebih kecil, dihasilkan sinyal untuk mengaktifkan katup kontrol yang besar.

Rakit sistem pnumatik berikut ini.



(a) Silinder Aksi Tunggal



(b) Silinder Aksi Ganda

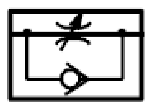
3 Praktikum 3: Pengaturan Kecepatan

Pengaturan kecepatan silinder yang dimaksudkan disini adalah mengurangi dan menmbah kecepatan.

Mengurangi Kecepatan Silinder :

Kecepatan silinder dapat dikurangi dengan memasang katup kontrol aliran.

Untuk mengatur kecepatan silinder agar lebih lambat dapat menggunakan katup kontrol aliran satu arah seperti pada gambar simbol berikut :



Ada dua kemungkinan pemasangan katup pengatur aliran satu arah, yaitu pengaturan udara masuk, dan pengaturan udara pembuangan.

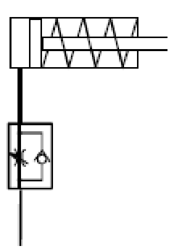
Menambah Kecepatan Silinder :

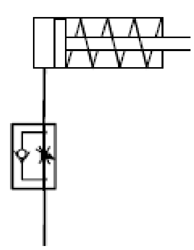
Menambah kecepatan silinder dengan menggunakan katup buangan-cepat.

Pemasangan katup ini dekat dengan silinder, agar udara buangan cepat keluar dan kecepatan silinder bertambah.

Pengaturan Kecepatan Silinder Kerja Tunggal

Pada silinder kerja tunggal, pengurangan kecepatan gerakan maju hanya efektif dilakukan oleh pengaturan udara masuk dan tidak mungkin menambah kecepatan gerakan maju dengan menggunakan katup buangan cepat. Pengurangan kecepatan silinder dilakukan dengan menggunakan katup control aliran satu arah seperti pada gambar berikut ini.



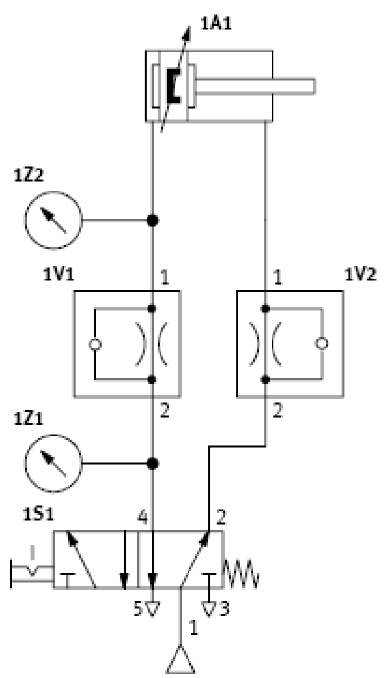


Pengaturan Kecepatan Silinder Kerja Ganda

Pada silinder kerja ganda memungkinkan melakukan pengaturan aliran udara masuk dan udara buangan untuk mengurangi kecepatan gerakan maju dan mundur. Katup buangan cepat dapat digunakan untuk menambah kecepatan maju maupun mundur. Pengurangan kecepatan silinder dengan pengaturan terpisah untuk gerakan maju dan mundur seperti gambar berikut :



Rakit system pnumatik berikut ini



Umpan Balik dan Tindak Lanjut

- ✓ Umpan Balik

  Sudahkah anda mampu:

  - Menjelaskan operasional sistem pneumatik
  - Mengidentifikasi komponen sistem pnumatik
  - Menganalisis fungsi dan diagram alir rangkaian kontrol pnumatik
  - Mengoperasikan sistem kontrol pnumatik

- ✓ Tindak Lanjut

  Siswa dapat Menentukan jenis dan spesifikasi komponen pneumatik yang dibutuhkan kontrol, merencanakan dan merakit sistem kontrol pneumatik

4. KEGIATAN BELAJAR 4:
SISTEM KONTROL ELEKTROPNEUMATIK

Indikator Keberhasilan

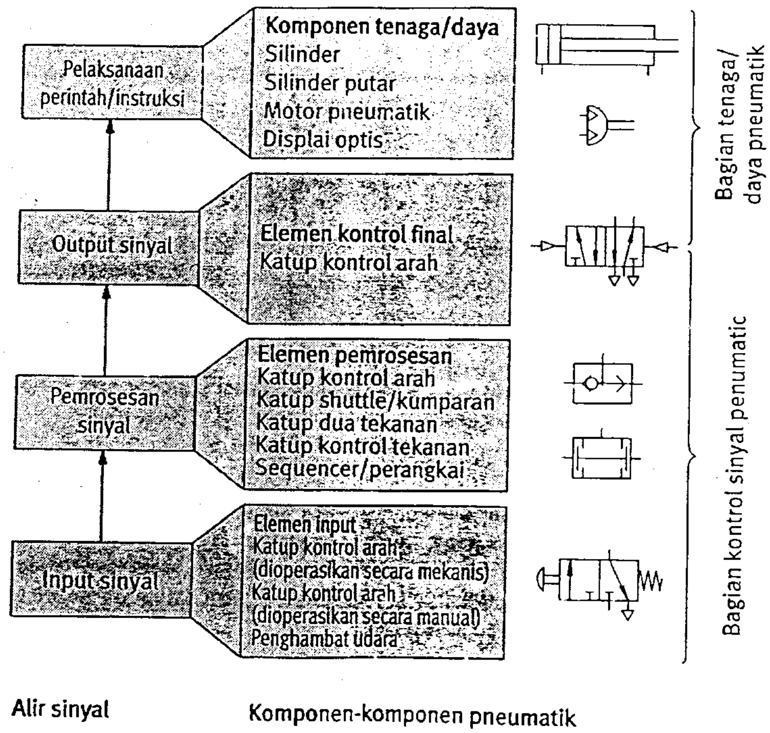
Diharapkan siswa dapat:

- Mengidentifikasi elemen kontrol elektropneumatik
- Mengenal simbol pneumatik dan elektrik pada sistem elektropneumatik
- Mambaca diagram kontrol elektropneumatik
- Membuat diagram kontrol elektropneumatik
- Membuat rancangan sederhana sistem kontrol elektropneumatik

4.1 Elemen Kontrol Elektropneumatik

Kontrol pneumatik dan elektropneumatik mempunyai suatu bagian tenaga/daya pneumatik seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.1 dan 4.2. Bagian sinyal kontrol berbeda-beda sesuai dengan jenisnya.

- Dalam suatu kontrol pneumatik, komponen-komponen pneumatik digunakan, yakni berbagai jenis katup, sequencer (berurutan),penghambat udara dan sebagainya.
- Dalam suatu kontrol elektropneumatik, bagian kontrol sinyal terbuat dari komponen-komponen elektrik, misalnya dengan tombol input elektrik saklar proksimitas, relay atau *programmable logic control* (PLC).



Gambar 4.1. Aliran sinyal dan komponen sistem kontrol elektropneumatik.

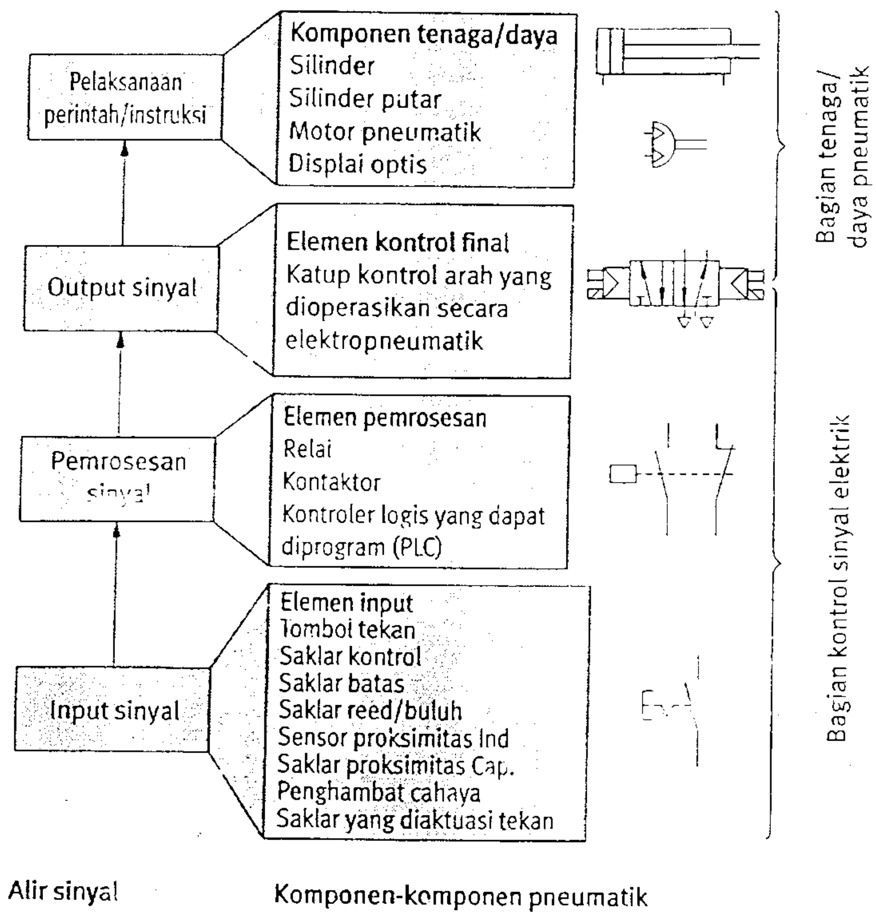
Pada sistem pengontrolan elektropneumatik tidak ditemukan dalam diagram rangkaian keseluruhan yang tunggal, namun dalam dua diagram rangkaian terpisah, satu untuk bagian elektrik dan satu lagi untuk bagian pneumatik. Untuk itu, aliran sinyal tidak langsung tampak dengan jelas dari pengaturan komponen-komponen dalam keseluruhan diagram rangkaian.

Pada sistem elektropneumatik terdapat 4 kelompok dasar yaitu :

1. Power Supply (Pasokan energi)
   - Arus listrik
   - Udara bertekanan
2. Elemen-elemen masukan (Sensor)
   - Limit switch
   - Tombol tekan

- Proximity sensor

3. Elemen pemroses (Prosessor)
   - Switching logic
   - Katup solenoid
   - Converter Pneumatik ke Elektrik
4. Aktuator dan elemen kontrol akhir
   - Silinder
   - Motor
   - Katup kontrol akhir



Gambar 4.2 Struktur dan modus operandi pengontrolan elektropneumatik

Struktur dan modus operandi dari suatu pengontrolan elektropneumatik

- Bagian kontrol sinyal elektrik menghidupkan katup kontrol arah yang diaktuisikan secara elektris.
- Katup kontrol arah menyebabkan batang piston/torak untuk maju dan mundur.
- Posisi dari batang piston/torak dilaporkan kepada bagian kontrol sinyal elektrik oleh saklar proksimitas.

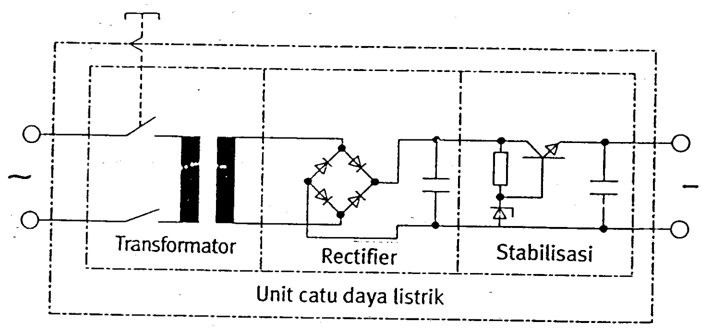
4.1.1 Elemen Utama Elektropneumatik

Bila energi listrik tersedia dan akan dipakai maka perlu diproses dan didistribusikan oleh komponen utama. Untuk mempermudah penunjukkannya maka komponen itu digambarkan dalam bentuk simbol pada diagram rangkaiannya.

a. Unit catu daya listrik.

Bagian kontrol sinyal suatu pengontrolan elektropneumatik akan disuplai dengan suatu daya melalui bagian utama elektris. Pengontrolan mempunyai unit catu daya listrik untuk tujuan ini perhatikan gambar 4.3. Secara individual unit catu daya listrik ini berfungsi sebagai berikut :

- Penurun tegangan, dari tegangan 240 Volt diturunkan menjadi tegangan rendah 24 Volt sebagai output.
- Penyearah yang mengkonversikan tegangan ac menjadi tegangan dc. Kapasitor pada output penyearah berfungsi untuk meratakan tegangan tersebut.
- Regulator tegangan pada output dari unit catu daya diperlukan untuk menjamin agar tegangan output konstan tanpa dipengaruhi oleh aliran arus yang mengalir ke beban.



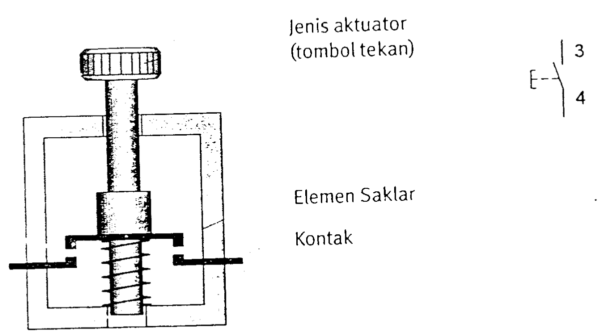
Gambar 4.3 Unit catu daya listrik.

b. Tombol tekan dan saklar kontrol.

Saklar dipasang pada suatu rangkaian untuk mengalikan arus listrik pada rangkaian tersebut. Saklar ini akan dibagi sebagai tombol tekan dan saklar kontrol.

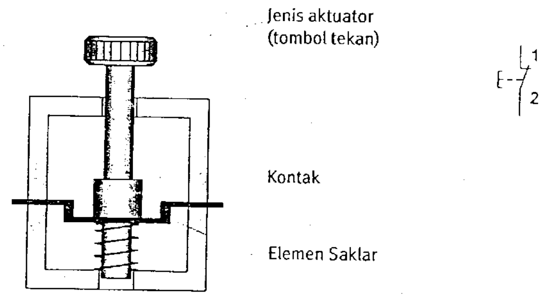
- Saklar kontrol akan dioperasikan secara mekanik pada posisi yang telah ditentukan. Posisi saklar akan tetap tidak berubah sampai pada posisi saklar yang baru ditentukan. Contoh : saklar lampu di rumah.
- Tombol tekan hanya dapat mempertahankan posisi yang ditentukan sepanjang saklar tersebut telah diaktuasikan (ditekan). Contoh : saklar bel.

Kontak terbuka secara normal (*Normaly Ope*n), rangkaian terbuka apabila saklar ada pada posisi awalnya (tidak diaktuisikan), arus tidak mengalir ke beban. Rangkaian tertutup dengan menekan tombol tekan, arus mangalir ke beban. Ketika tombol dilepas, maka pegas akan mengembalikan saklar ke posisi awal.



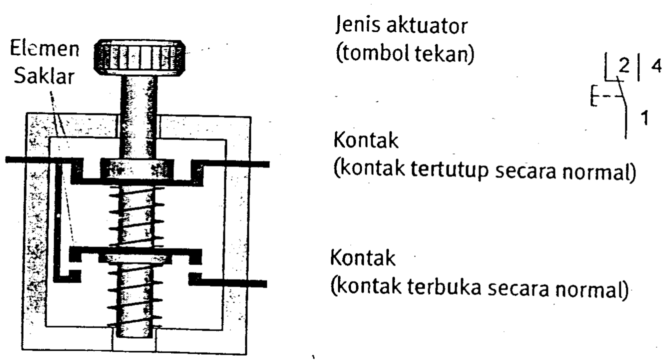
Gambar 4.4 Kontak terbuka secara normal.

Kontak tertutup secara normal (*Normaly Close*), rangkaian tertutup apabila saklar ada pada posisi awalnya (tidak diaktuisikan), arus mengalir ke beban. Rangkaian terbuka dengan menekan tombol tekan, arus tidak mengalir ke beban. Ketika tombol dilepas, maka pegas akan mengembalikan saklar ke posisi awal.



Gambar 4.5 Kontak tertutup secara normal.

Tombol tekan dengan mengkombinasikan fungsi-fungsi kontak terbuka secara normal dan kontak tertutup secara normal dalam satu piranti. Perubahan kontak-kontak tersebut digunakan untuk menutup suatu rangkaian dan membuka rangkaian lainya dalam pengoperasian satu saklar.



Gambar 4.6. Kontak NO/NC.

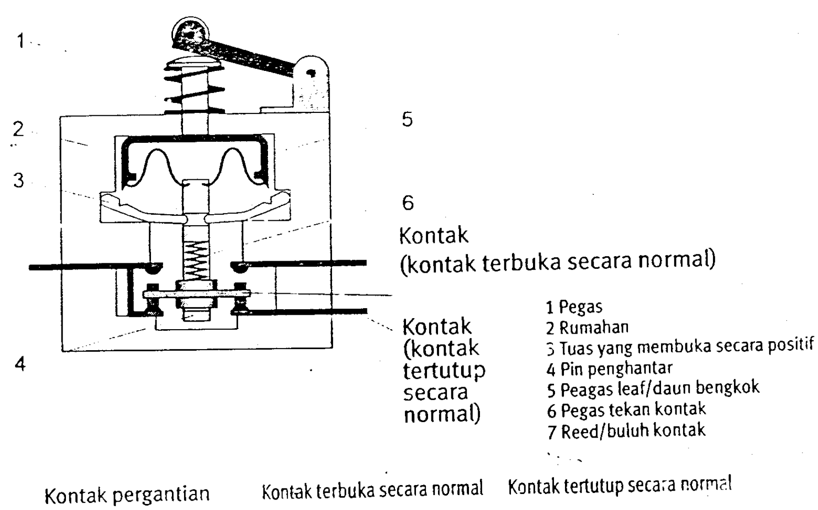
c. Sensor untuk mengukur penempatan pneumatik dan tekanan.

Sensor bekerja untuk mengukur informasi dan melakukan pemrosesan sinyal dalam suatu bentuk yang dapat dengan mudah diproses. Pengontrolan elektropneumatik sensor biasanya digunakan untuk tujuan sebagai berikut :

- Untuk mendeteksi posisi ujung maju dan mundur dari batang piston/torak saat mendorong silinder.
- Untuk mendeteksi adanya dan posisi benda kerja.
- Untuk mengukur dan memonitor tekanan.

d. Saklar batas (*limit switch*).

Saklar batas (*limit switch*) diaktuasikan ketika suatu bagian mesin atau benda-benda kerja sedang dalam posisi tertentu. Secara normal, aktuasi diberlakukan dengan suatu gerakan. Saklar batas (*limit switch*) akan menggantikan kontak-kontak pada dasarnya dihubungkan sebagaimana yang disyaratkan sebagai suatu kontak yang terbuka secara normal, kontak yang tertutup secara normal atau perubahan kontak.



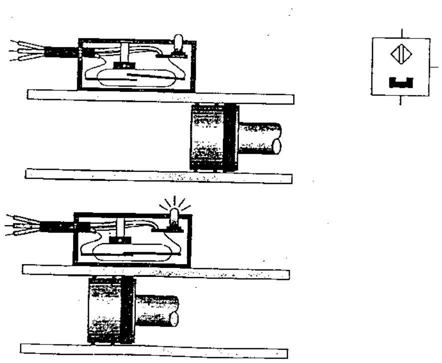
Gambar 4.7. Konstruksi dan sambungan saklar batas.

e. Saklar proksimitas (*proximity switch*)

Berbeda dengan Saklar batas (*limit switch*), saklar proksimitas (*proximity switch*) bekerja tanpa kontak langsung dengan objeknya dan tanpa gerakan mekanik. Sehingga, saklar proksimitas (*proximity switch*) bisa berumur panjang dan kinerja saklar tersebut sangat handal. Jenis saklar proksimitas (*proximity switch*) dibedakan sebagai berikut :

- *Reed switch*
- *Proximity Switch Inductif*
- *Proximity Switch Capacitif*
- *Proximity Switch Optic*

Reed switch adalah saklar proksimitas yang bekerja secara kemagnitan, terdiri dari dua kontak yang diletakan didalam tabung gelas berisi gas. Medan magnit yang menyebabkan kedua kontak tersebut terhubung sehingga dapat mengalirkan arus listrik.



Gambar 4.8. Konstruksi dan sambungan *Reed switch*.

Proximity switch inductif, capacitif dan *optic* adalah sensor-sensor elektronik. Biasanya biasanya mempunyai tiga titik kontak :

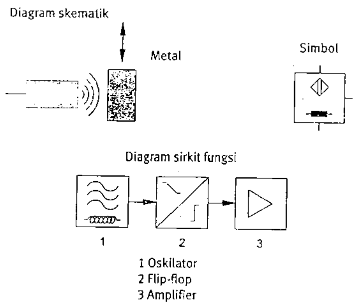
- Kontak untuk tegangan sumber.
- Kontak untuk *grounding.*
- Kontak untuk sinyal output.

Ada dua macam sensor elektronik sehubungan dengan polaritas dari tegangan output :

- Pada sensor switching positif, tegangan output adalah nol bila tidak ada objek yang terdeteksi didekatnya.

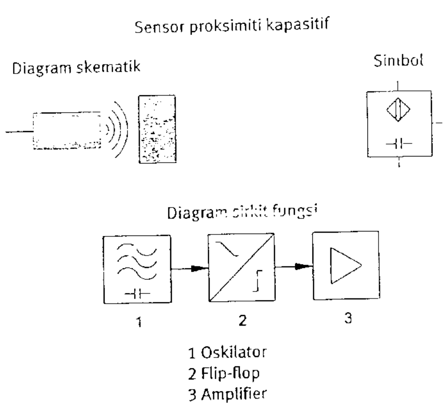
- Pada sensor switching negatif, tegangan sumber dipakai sebagai pemasok bila ada objek yang terdeteksi didekatnya.

Sensor *proximity inductif* terdiri dari oscilator (1), frekuensi modulasi (2) dan amplifier (3). Bila sumber tegangan dihubungkan, oscilator tersebut membangkitkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi yang terinduksi di depan sensor. Sensor *proximity inductif* dapat digunakan untuk mendeteksi objek logam.



Gambar 4.9. Sensor *proximity inductif*.

Sensor *proximity capacitif* sama dengan Sensor *proximity inductif* terdiri dari oscilator (1), frekuensi modulasi (2) dan amplifier (3). Bila sumber tegangan dihubungkan, oscilator RC tersebut membangkitkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi yang terinduksi di depan sensor. Sensor *proximity inductif* dapat digunakan untuk mendeteksi objek non logam.



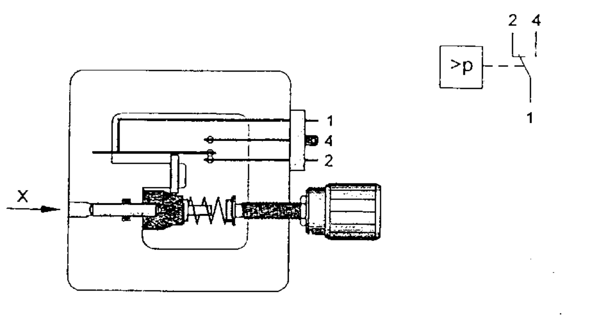
Gambar 4.10. Sensor *proximity capacitif.*

Sensor *proximity optic* memanfaatkan sarana optik dan elektronik untuk mendeteksi suatu objek menggunakan cahaya inframerah. *Light Emiting Diode* (LED) digunakan sebagai pembangkit cahaya inframerah dan foto transistor dimanfaatkan sebagai penerima. Sensor *proximity optic* dapat dibedakan menjadi tiga macam :

- Penghambat cahaya searah
- Penghambat cahaya reflektif
- Sensor optik reflektif tersebar (difuse)

f. Saklar tekanan mekanik.

Saklar tekanan mekanik digerakan secara mekanik karena adanya tekanan yang bekerja terhadap suatu permukaan silinder. Bila tekanan yang bekerja tersebut melebihi kekuatan pegas dari pegas balik, maka piston akan bergerak dan menjalankan kontak saklar.



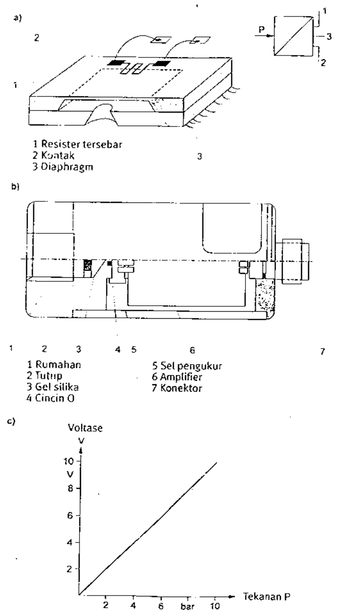
Gambar 4.11. Saklar tekanan yang digerakan oleh piston.

g. Saklar tekanan elektrik.

Saklar tekanan elektrik adalah sebagai pengganti dari pergerakan suatu kontak mekanik. Dengan memanfaatkan sensor yang peka tehadap gaya atau tekanan, selanjutnya sinyal dari sensor tersebut diproses oleh suatu rangkaian elektronik.

Gambar 4.12a. Menunjukan pengukuran piezoresistif dari suatu sensor tekanan. Nilai resistor akan berubah jika tekanan dilakukan pada permukaan sensor tersebut yang dihubungkan dengan rangkaian elektronik untuk membangkitkan sinyal output.

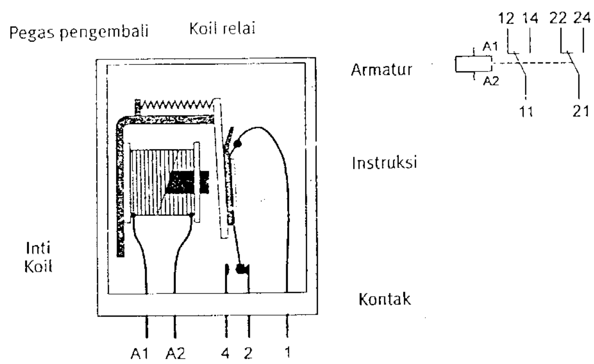
Gambar 4.12b. Memperlihatkan ciri-ciri sensor yang menunjukan hubungan antara tegangan dengan tegangan output, peningkatan tekanan akan mengakibatkan peningkatan tegangan output. Suatu tekanan sebesar 1 bar menyebabkan tegangan 1 Volt, tekanan sebesar 2 bar menyebabkan tegangan 2 Volt dan seterusnya.



Gambar 4.12. Kontruksi sensor tekanan elektrik.

h. Relay dan kontaktor.

Relay adalah suatu saklar yang digerakkan secara elektromagnetik. Bila sumber tegangan diberikan pada kumparan selenoid, maka akan terbangkit suatu medan elektromagnetik yang menakibatkan tertariknya armatur ke inti kumparan. Armature tersebut menggerakkan kontak relai apakah menutup atau membuka sesuai dengan perancangannya. Pegas akan mengembalikan armatur ke posisi semula jika arus listrik yang mengalir ke kumparan tidak ada.



Gambar 4.13. Konstruksi relay.

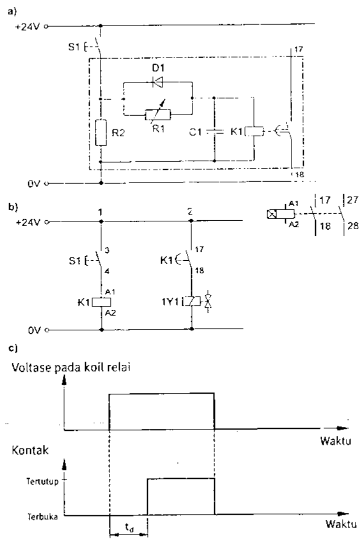
Kumparan relay dapat menggerakkan satu atau lebih kontak. Disamping jenis relay yang digambarkan diatas, ada saklar yang digerakkan secara elektromagnetik jenis lain, relay retentif, relay waktu dan kontaktor.

Pada sistem kontak elektropneumatik, relay digunakan untuk fungsi-fungsi sebagai berikut :

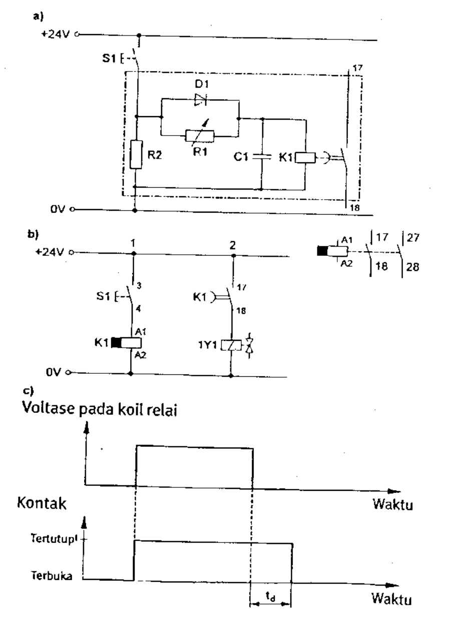
- Penggandaan sinyal.
- Menunda dan mengkonversikan sinyal.
- Menggabungkan informasi.
- Mengisolasi rangkaian kontrol dari rangkaian utama.

Relay retentif untuk merespon sinyal impulse :

- Armature akan mendapatkan energi bila diberikan sinyal impulse positif.
- Armature akan kehilangan energi bila diberikan sinyal impulse negatif.
- Ada dua macam relay waktu, penunda waktu ON (delay ON) dan penunda waktu OFF (delay OFF), armatur akan mendapatkan energi sesudah penundaan waktu yang diset, sebaliknya diteapkan pada relay penunda waktu OFF (delay OFF), diperlihatkan pada gambar 4.15 dan 4.16.



Gambar 4.14. Relay penunda waktu ON.

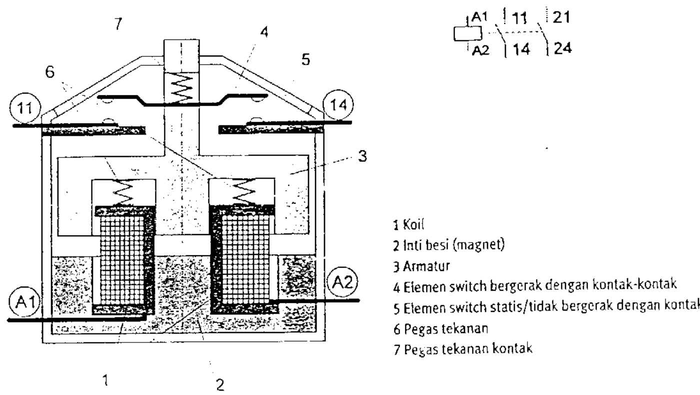


Gambar 4.15. Relay penunda waktu OFF.

Kontaktor bekerjanya sama dengan relay. Ciri-ciri khusus dari kontaktor adalah :

- Kontak ganda.
- Kontak tindakan posistif.

Ciri-ciri lain untuk memungkinkan kontaktor menghubungkan arus lebih besar dari pada pada relay.



Gambar 4.16. Kontruksi kontaktor.

Kontaktor memiliki beberapa elemen kontak, biasanya empat sampai sepuluh. Kontaktor sama halnya dengan relay ada bermacam-macam jenis gabungan kontak, kontak normal tertutup, kontak normal terbuka, kontak perubahan, kontak bantu. Kontaktor yang dilengkapi dengan kontak-kontak utama dan bantu dinamakan kontaktor tenaga.

Kontaktor digunakan untuk aplikasi sebagai berikut :

- Daya dari 4 sampai 30 KW.
- Fungsi kontrol yang dilakukan oleh kontak bantu.

Dalam pengontrolan elektropneumatik, arus listrik dan daya yang dikontrol rendah, karena alasan ini hanya kontak bantu yang digunakan, sehingga kontaktor tenaga tidak digunakan.

3. Pengontrolan Silinder Kerja Tunggal

Single Acting Cylinder (SAC) Gerakan keluar dari batang piston dilakukan oleh udara bertekanan, sedangkan gerakan balik dilakukan oleh pegas.Prinsip kerja dari silinder kerja tunggal adalah batang piston silinder kerja tunggal bergerak keluar pada saat silinder menerima udara bertekanan. Jika udara bertekanan dihilangkan, secara otomatis piston kembali lagi ke posisi awal.

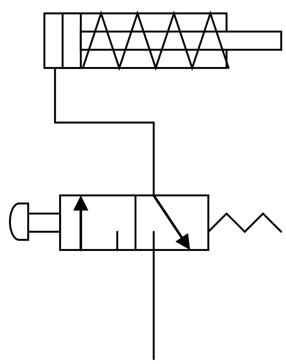
Sebuah katup akan mengeluarkan sinyal ketika sebuah tombol tekan ditekan dan sinyal hilang bila tombol dilepas. Katup kontrol arah 3/2 adalah sebagai katup pembangkit sinyal. Jenis katup ini cocok untuk mengontrol sebuah silinder kerja tunggal.

Prinsip kerja:

Pada kondisi normal posisi silinder seperti pada gambar di bawah ini, yaitu batang piston selalu berada pada posisi “0” karena adanya gaya dorong dari pegas.

Komponen yang diperlukan :

1. Silinder kerja tunggal mempunyai satu lubang masukan udara dan satu lubang pembuangan atau lubang ventilasi serta pegas untuk gerakan kembali.
2. Katup kontrol arah 3/2 mempunyai 3 lubang dan 2 posisi kontak, tombol tekan untuk mengaktifkan dan pegas untuk kembali.
3. Udara bertekanan dari catu daya (kompresor) dihubungkan ke katup3/2.
4. Sambungan udara bertekanan (pipa/slang plastik) antara catu daya dan katup 3/2 , antara katup 3/2 dan silinder



Gambar 4.17. Silinder kerja tunggal dengan katup 3/2

a. Tombol ditekan

Menekan tombol tekan berarti memindahkan posisi katup 3/2, melawan pegas katup. Udara bertekanan dari catu daya melalui katup masuk ke lubang masukan silinder kerja tunggal. Udara bertekanan yang terkumpul menyebabkan batang piston bergerak keluar melawan gaya pegas kembali. Setelah piston sampai pada posisi akhir langkah maju, maka tekanan udara di dalam tabung silinder meningkat mencapai harga maksimum.

b. Tombol dilepas

Segera setelah tombol dilepas, maka pegas di katup mengembalikan katup ke posisi awal dan batang piston silinder kembali masuk. Jika tombol tekan diaktifkan lau dilepas sebelum silinder keluar penuh, piston masuk kembali secara langsung, maka ada hubungan langsung antara pengoperasian tombol tekan dan posisi silinder. Hal ini memungkinkan silinder bisa keluar tanpa mencapai akhir langkah.

c. Kecepatan Silinder

Kecepatan keluar dan kecepatan masuk silinder kerja tunggal berbeda. Silinder bergerak keluar digerakkan udara bertekanan, sedangkan selama mundur kecepatan diatur oleh pegas kembali, sehingga kecepatan gerak arah piston keluar lebih cepat daripada kecepatan mundur.

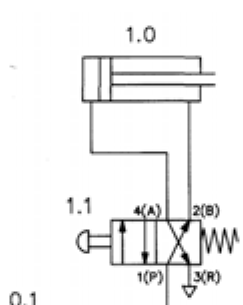
4. Pengontrolan Silinder Kerja Ganda

Batang piston silinder kerja ganda bergerak keluar ketika sebuah tombol ditekan dan kembali ke posisi semula ketika tombol dilepas. Silinder kerja ganda dapat dimanfaatkan gaya kerjanya ke dua arah gerakan, karena selama bergerak ke luar dan masuk silinder dialiri udara bertekanan.

Sebuah katup diperlukan untuk membangkitkan sebuah sinyal dan membatalkan sinyal yang lain ketika tombol dilepas. Katup 4/2 digunakan karena katup tersebut merupakan katup pembangkit sinyal dengan 2 lubang sinyal keluaran. Katup ini cocok untuk mengendalikan sebuah silinder kerja ganda.

Komponen yang digunakan :

1. Silinder kerja ganda dengan 2 lubang masukan,
2. Katup kontrol arah 4/2 mempunyai 4 lubang dan 2 posisi kontak, tombol untuk mengaktifkan dan pegas untuk gaya kembali,
3. Catu daya udara bertekanan dihubungkan ke katup 4/2,
4. Dua sambungan udara bertekanan antara katup dan silinder.



Gambar 4.18. Silender kerja ganda dengan katup 4/2

a. Posisi Awal

Posisi awal semua hubungan dibuat tidak ada tekanan dan tombol tidak ditekan oleh operator. Pada posisi tidak diaktifkan bertekanan diberikan pada sisi batang piston silinder, sedangkan udara pada sisi piston silinder dibuang melalui saluran buang katup.

b. Tombol ditekan

Menekan tombol berarti memindahkan posisi katup 4/2 melawan gaya pegas pengembali. Pada posisi ini suplai udara bertekanan dialirkan ke sisi piston silinder dan udara pada sisi batang piston dibuang keluar lewat katup. Tekanan pada sisi piston mendorong keluar batang piston. Pada saat langlah keluar penuh dicapai, tekanan pada sisi piston mencapai maksimum.

c. Tombol dilepas

Tombol tekan dilepas, pegas pengembali katup menekan katup kembali ke posisi semula. Sekarang suplai udara bertekanan dialirkan ke sisi batang piston dan udara pada sisi piston dibuang keluar melalui katup, sehingga batang piston silinder kerja ganda masuk kembali.

d. Kecepatan Silinder Kerja Ganda

Kecepatan silinder keluar dan masuk berbeda. Kenyataannya bahwa volume silinder pada sisi batang piston lebih kecil daripada volume udara pada sisi piston. Oleh karena itu volume suplai udara bertekanan selama arah masuk lebih kecil dari pada arah keluar sehingga *gerakan silinder arah masuk lebih cepat* daripada arah keluar.

Jika tombol tekan dilepas sebelum silinder keluar sampai langkah penuh, maka batang piston akan masuk kembali dengan segera. Oleh karena itu ada hubungan langsung antara pengoperasian tombol dan posisi batang piston silinder

5. Standarisasi Pneumatik Circuit Diagram

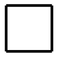
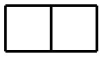
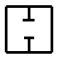
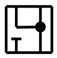
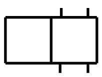
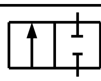
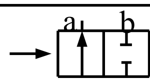
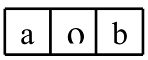
Diagram sistem pneumatik dari suatu sistem kontrol dihubungkan satu sama lain dan bagaimana mereka berinteraksi. Simbol-simbol grafis yang merupakan komponen-komponen akan diatur sedemikian rupa untuk memperoleh suatu diagram sirkit yang jelas,dimana terdapat suatu persimpangan saluran-saluran sekecil mungkin.Suatu diagram sirkit pneumatik oleh sebab itu,tidak mengungkapkan susunan ruang . Dalam suatu diagram sirkit pneumatik komponen-komponen dipresentasikan oleh simbol-simbol grafis (sirkit) yang di standarisasi sesuai dengan DIN/ISO 1219.1

Simbol grafis menjelaskan karakteristik dari tiap komponen meliputi:

a. Jenis aktuasi
b. Jumlah pos dan tujuannya
c. Jumlah posisi saklar

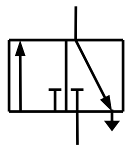
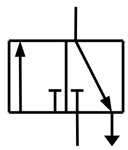
a. Simbol-simbol katup pengarah dan cara penggambarannya

Dalam membuat diagram rangkaian (*circuit diagram*) pneumatik, setiap jenis katup yang digunakan harus digambarkan secara simbul-simbul saja. Simbul-simbul ini hanya untuk menunjukkan fungsinya, bukan merupakan prinsip kerja dari konstruksi katupnya. Untuk memahami dan cara menggambar katup, perhatikan petunjuk pada Gambar 4.19. Harap dibaca atau disimak secara urut mulai dari atas ke bawah.

	Perubahan posisi kerja katup digambarkan dengan bentuk segi empat bujur sangkar.
	Jumlah bujur sangkar yang berdekatan menunjukkan banyaknya perubahan posisi yang dimilikioleh katup tersebut.
	Fungsi dan prinsip kerja digambarkan di dalam kotak bujur sangkar. **Garis menunjukkan aliran, anak panah menunjukkan arah aliran.**
	Posisi penutupan lubang-lubang katup ditunjukkan di dalam kotak oleh garis tegak lurus (bentuk siku-siku).
	Persimpangan aliran digambarkan oleh sebuah titik yang tebal **atau lingkaran kecil yang diblok hitam**.
	Sambungan (lubang saluran masuk dan keluar) ditunjukkan oleh garis dan digambar di luar kotak yang menyatakan posisi normal (awal).
	Posisi lain diperoleh dengan merubah kotak bujur sangkar sampai arah alirannya sesuai terhadap sambungannya (jumlah lubang-lubangnya).
	Perubahan posisi katup dapat dinyatakan dengan huruf kecil, misalnya huruf : a, b, c, dan seterusnya.
	Katup dengan 3 perubahan posisi, maka posisi tengah adalah sebagai posisi netral (posisi normal) dengan ditandai huruf kecil o.

Gambar 4.19.Cara Menggambar dan Membaca Katup Pneumatik

Setiap katup dilengkapi dengan pembuangan udara yang telah dianggap selesai melakukan tugas. Model pembuangan udara bekas itu ada dua alternatif yaitu dibuang secara langsung dan lewat saluran penghubung. Pada umumnya juga telah dilengkapi dengan peredam (*silencer*) supaya saat udara angin tidak menimbulkan kebisingan. Alat peredam suara ini biasanya tidak nampak dari luar secara fisik, melainkan dibuat sembunyi sehingga tidak akan nampak sama sekali.

	Pembuangan aliran udara bekas tanpa harus ada pipa penghu-bung (langsung dibuang secara bebas), digambarkan dengan segitiga langsung pada kotak di bawah lubang saluran buang.
	Untuk pembuangan udara bekas dengan pipa saluran (menyalur-kan pembuangan), digambarkan dengan segitigadan garis tam-bahanpada saluran buangnya.

Gambar 4.20

Penandaan dan Cara Pembuangan Udara Bekas dari Katup Pneumatik

Untuk menjamin bahwa katup dipasang dengan tepat maka setiap saluran penyambungnya diberi tanda huruf besar atau angka. Tanda-tanda itu dibuat supaya saat membuat rangkaian diagram pneumatik menjadi lebih mudah mengkonstruksi-nya. Tanda-tanda saluran yang umum digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1 Tanda dan penomoran itu telah merujuk kepada ISO-1219.

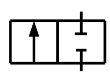
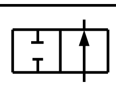
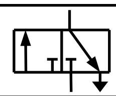
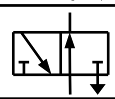
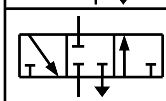
Tabel 4.1.
Tanda-tanda dan Penomoran pada Lubang-lubang Katup Pneumatik

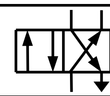
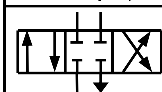
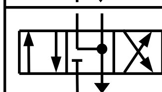
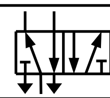
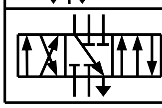
No	Jenis saluran:	Diberi tanda :		
1.	Kerja (keluar dari katup)	A, B, C, …	atau	2, 4, 6, …
2.	Tenaga (*pressure*)	P (*Pressure*)	atau	1
3.	Pembuangan dari katup	R, S, T, …	atau	3, 5, 7, …
4.	Kontrol atau sinyal	X, Y, Z, …	atau	1.2 ; 1.4 ; 1.6 ; …

Manfaat pemberian tanda-tanda ini adalah untuk memudahkan saat pema-sangan awal atau membuat konstruksi baru, atau mungkin untuk pengecekan karena harus melakukan rekonstruksi, perbaikan, dan sebagainya. Hal ini penting jika jum-lah katup-katup sebagai komponen rangkaian diagram pneumatik banyak sekali.

Jumlah katup pengarah banyak sekali. Jika sedang mengamati katup dari jenis katup pengarah maka yang pertama diperha-tikan adalah jumlah lubangnya. Dihitung dulu

jumlahnya, misalnya 2, 3, 4, 5, 6, dan seterusnya. Setelah itu baru melihat jumlah posisinya, misalnya 2, 3, dan mungkin 4 posisi. Terakhir adalah mengambil kesimpulan bahwa katup pengarah itu berpe-nandaan 2/2-*way*, 3/2-*way*, 4/2-*way*, 5/2-*way*, 3/3-*way*, 4/3-*way*, dan sebagainya.

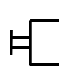
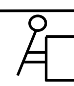
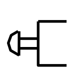
Simbul **Katup**	Penandaan **Katup**	Posisi Normal **(Awal)**
	**2/2-*way***	
	**2/2-*way***	
	**3/2-*way***	
	**3/2-*way***	
	**3/3-*way***	

Simbul **Katup**	**Penandaan** Katup	Posisi Normal **(Awal)**
	**4/2-*way***	1 Pemasukan **1** Pembuangan
	**4/3-*way***	posisi tengah **menutup**
	**4/3-*way***	A & B posisi **pembuangan**
	**5/2-*way***	Ada 2 saluran pembuangan
	**6/3-*way***	Ada 3 posisi **aliran**

Gambar 4.21
Ringkasan Katup Pengarah dari Macam-macam Katup Pneumatik

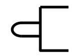
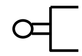
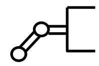
b. ***Jenis-jenis penggerak katup pneumatik pada katup pengarah.***

1) Dikontrol secara manual (*manual control*)

			Tuas (*Lever*)
	Tombol Tekan (*Push Button*)		

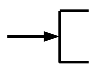
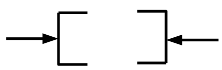
Gambar 4.22 Jenis Kontrol Katup Pneumatik secara Manual

2) Dikontrol secara mekanik (*mechanical control*)

			Rol (*Rooler*)
	Pegas (*Spring*)		Rol tuas dengan **kembali bebas**

Gambar 4.23 Jenis Kontrol Katup Pneumatik secara Mekanik

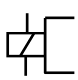
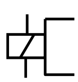
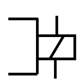
3) Dikontrol oleh tekanan angin (*pressure control*) atau secara pneumatik

	*Memakai tekanan udara dari satu arah*
	*Memakai tekanan udara dari dua arah secara bergantian*

Gambar 4.24

Jenis Kontrol Katup Pneumatik dengan Udara Bertekanan

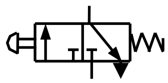
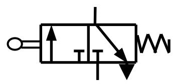
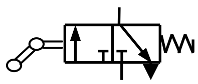
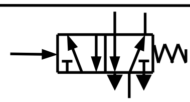
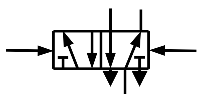
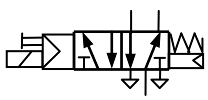
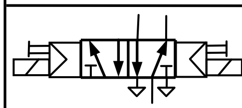
4) Dikontrol secara elektrik (*electrical control*)

	*Sebuah solenoid* (single solenoid*)*
 	*Dua buah solenoid* (double solenoid*) secara bergantian*

Gambar 4.25

Jenis Kontrol Katup Pneumatik secara Elektrik (Solenoid*)*

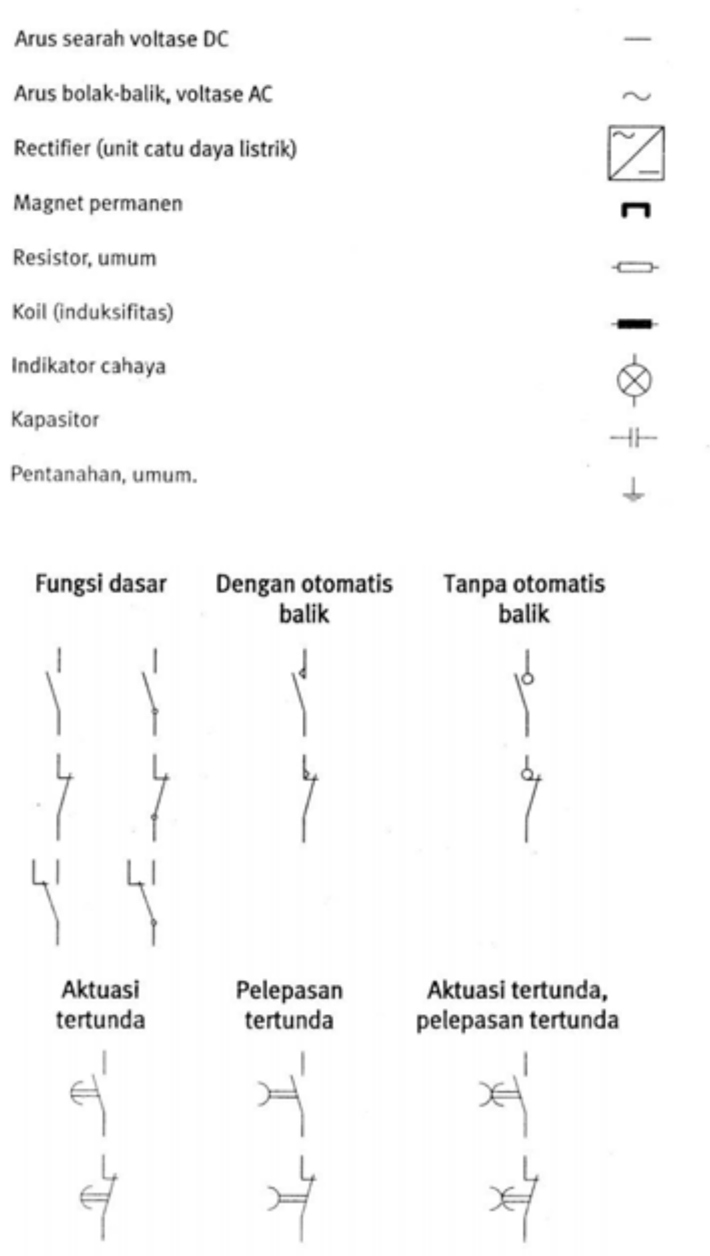
C .Contoh penggambaran katup pneumatik secara operasional

	Katup 3/2-*way* digerakkan oleh tombol tekan (PB) atau secara manual dan kembali ke posisi awal karena *spring return* (pegas pengembali)
	Katup 3/2-*way* digerakkan secara mekanik sebagai *Limit Switch* (LS) model biasa dan kembali ke posisi awal karena *spring return* (pegas pengembali)
	Katup 3/2-*way* digerakkan secara mekanik sebagai *Limit Switch* (LS) model rol tuas kembali bebas (*idle return*) dan kembali ke posisi awal karena *spring return*
	Katup 5/2-*way* digerakkan/dikontrol oleh udara bertekan-an (secara pneumatik) dari satu arah dan kembali ke posisi awal (normal) karena *spring return*. Biasa disebut *Monostable Distributor*
	Katup 5/2-*way* digerakkan/dikontrol oleh udara bertekan-an (secara pneumatik) dari dua arah secara bergantian. Biasa disebut *Bistable Distributor*
	Katup 5/2-*way* digerakkan/dikontrol secara elektrik dari satu arah dan kembali ke posisi awal (normal) karena *spring return*. Biasa disebut *Monostable Electric Distributor*
	Katup 5/2-*way* digerakkan/dikontrol secara elektrik dari dua arah secara bergantian. Biasa disebut *Bistable Electric Distributor*

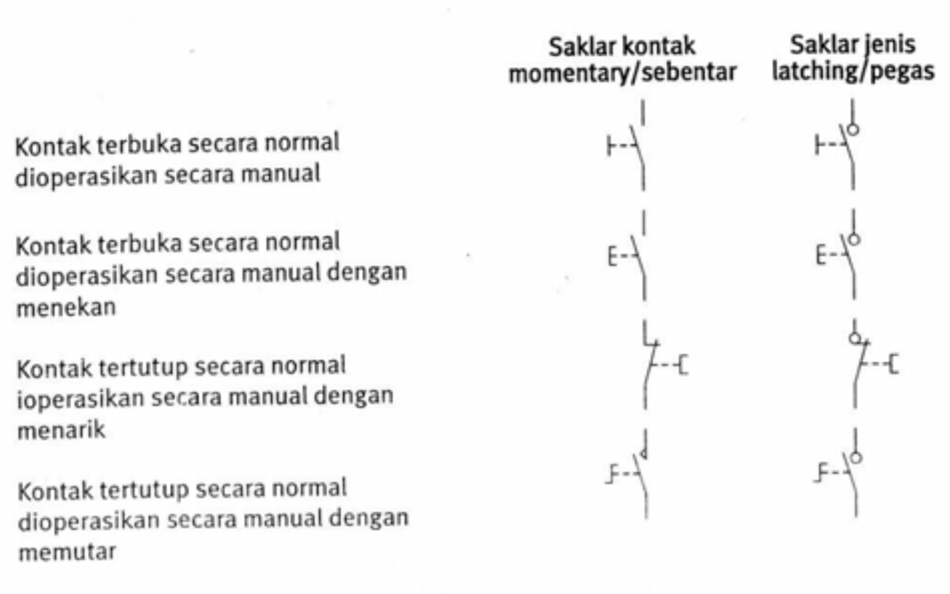
Gambar4.26. Contoh Katup Pneumatik secara Operasional

4.2 Standarisasi Electrical Circuit Diagram

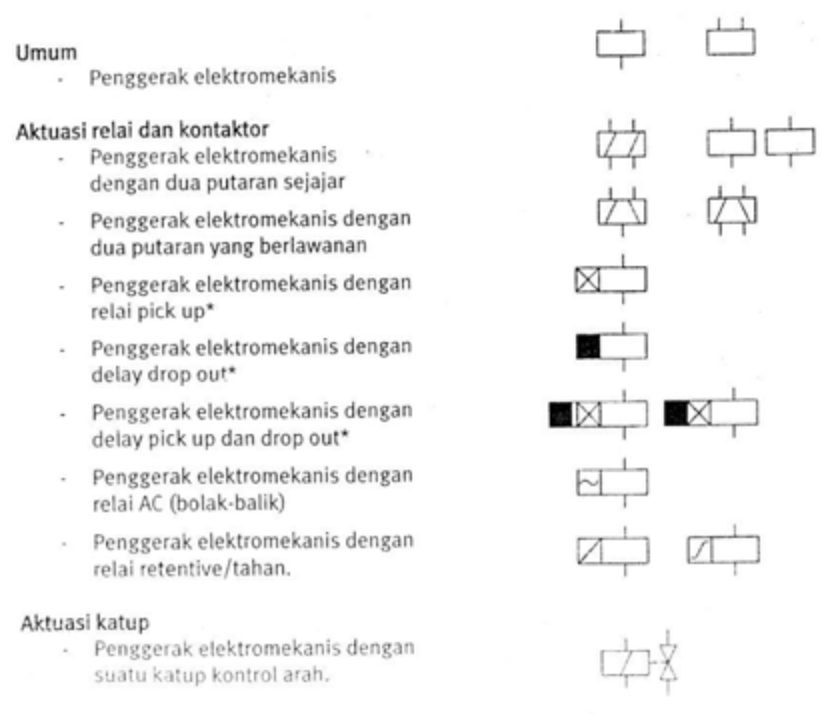
Dalam suatu diagram kelistrikan,maka komponen-komponen dipresentasikan simbol-simbol gafis yang di standarisasikan sesuai dengan ketentuan DIN 40900.Simbol-simbol yang digunakan untuk merepresentasikan komponen-komponen listrik tersebut yang sering kali ditemukan dalam sistem kontrol elektropneumatik ditunjukkan dalam gambar 4.28,gambar sombol listrik fungsi dasar.



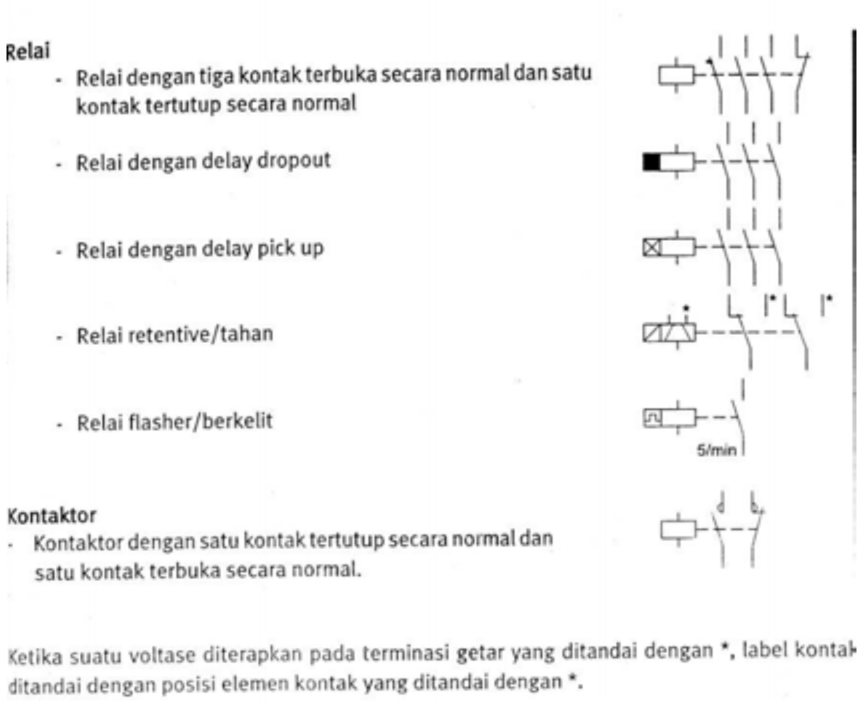
Gambar 4.27 Simbol-simbol grafik untuk kontak: fungi dasar dan aktuasi tertunda



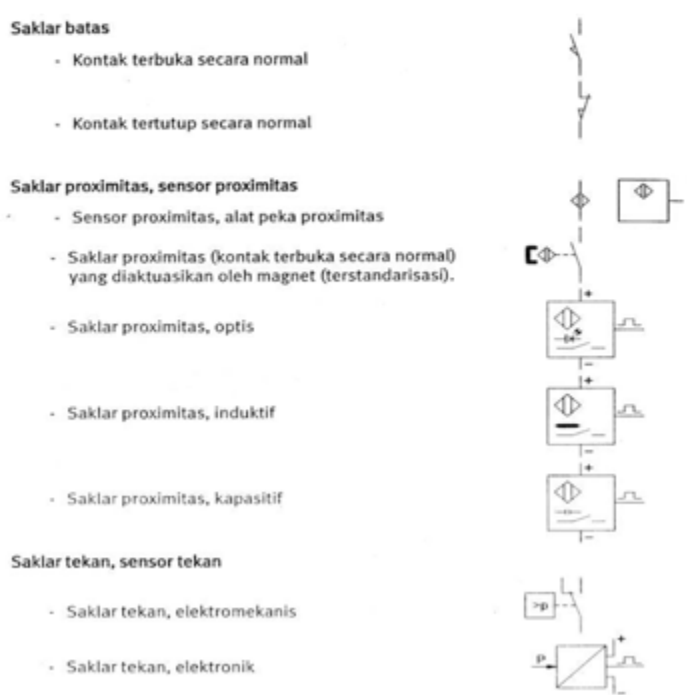
Gambar 4.28 Simbol grafis untuk alat-alat yang dioperasikan manual



Gambar 4.29 Simbol – simbol grafis penggerak elektromekanik



Gambar 4.30 Simbol Grafis untuk relai dan kontaktor

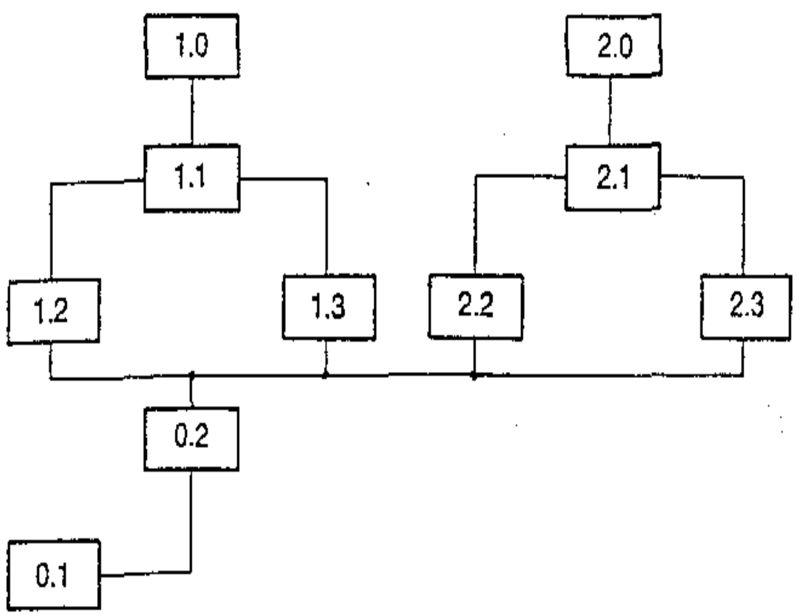


Gambar 4.31 Simbol-simbol grafis untuk sensor

a. Diagram Sirkuit

Setelah kita mengenal simbol-simbol pneumatik maka gambar gambar rancangan sirkuit elektropneumatik akan kita komunikasikan dengan grafik -simbol. Hal ini akan sangat mudah untuk menggambar maupun memahaminya. Lain halnya bila kita menggambar rangkaian dengan menggunakan gambar benda sesungguhnya kita akan mengalami kesulitan. Berikut ini suatu contoh sirkuit pneumatik dan yang digambar dengan gambar benda untuk dfibandingkan dengan diagram sirkuit yang digambarkan dengan grafik simbol.

Untuk merancang diagram sirkuit kita gunakan aturan tata letak seperti gambar berikut.



Working elements

Actuating elements

Signal elements

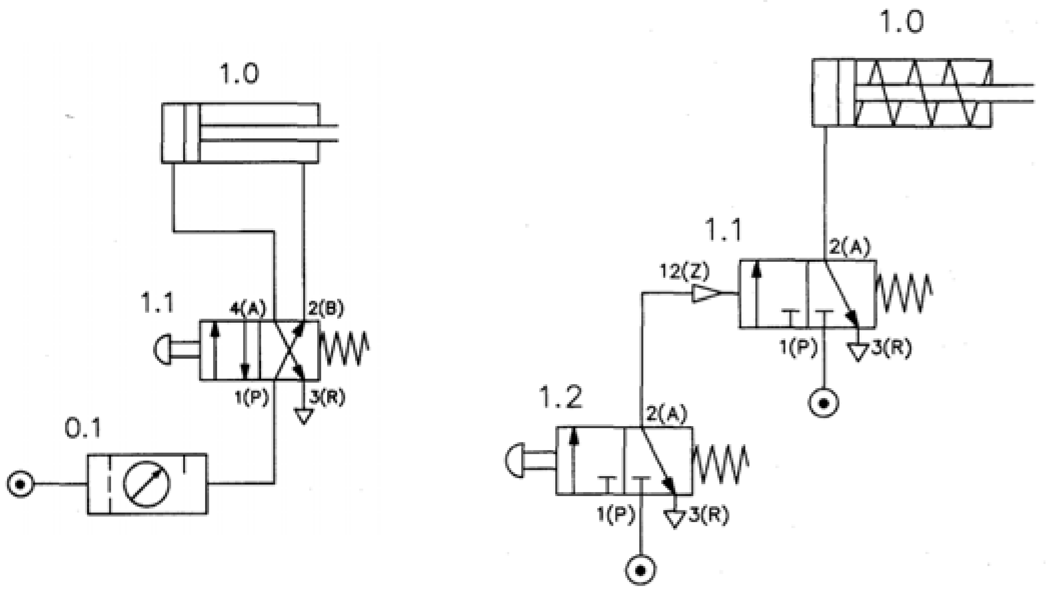
Supply elements (service
Unit ,shut-off valve ,
Reversing valve.

Gambar 4.32

Untuk penggerak dan kelompok katup-katup maupun supply elements diberi nomor-nomor atau angka-angka (Arabic number)

Digit pertama menunjukkan nomor aktuator dan juga aktuator mana yang dikontrol oleh unit pengatur yang sedang bekerja.

Contoh : 1 . 0 , 2 . 0 , 3 . 0 Aktuator (Working element)
1 . 1 , 1 . 2 , Katup-katup yang mengontrol aktuator no: 1
2 . 1 , 2 . 2 , Katup-katup yang mengontrol aktuator no: 2



Gambar 4.33 Sirkuit Pneumatik

b.Penggambaran Diagram Rangkaian

Di dalam sistem elektropneumatik diagram rangkaian dikembangkan secara terpisah tetapi akan terhubungkan dengan adanya simbol-simbol di dalam setiap diagram rangkaian tersebut. Dengan demikian cara penggambaran diagram rangkaiannya pun dibuat terpisah. Metoda penggambaran diagram rangkaian pneumatik dan diagram rangkaian electric akan dijelaskan berikut ini .

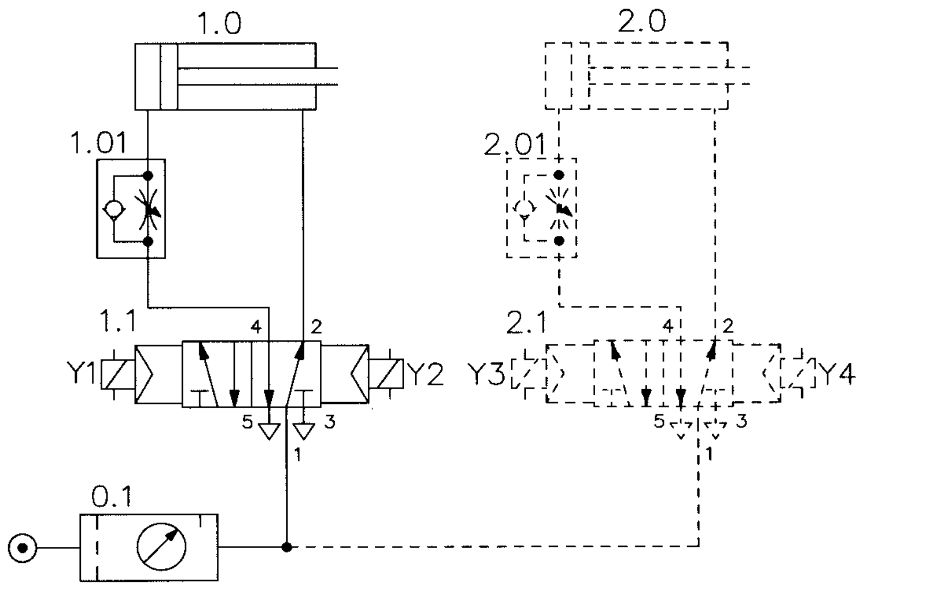
Metoda penggambaran diagram **rangkaian pneumatik** :

- Lay-out rangkaian agar mengikuti aliran signal (isyarat) pada rantai kontrol yaitu dari sumber energi, signal input sampai ke final signal dan disusun dari bawah ke atas.

- Silinder dan katup-katup digambar mendatar , kemudian cara kerja silinder dari kiri ke kanan.(lihat gambar 4.34).

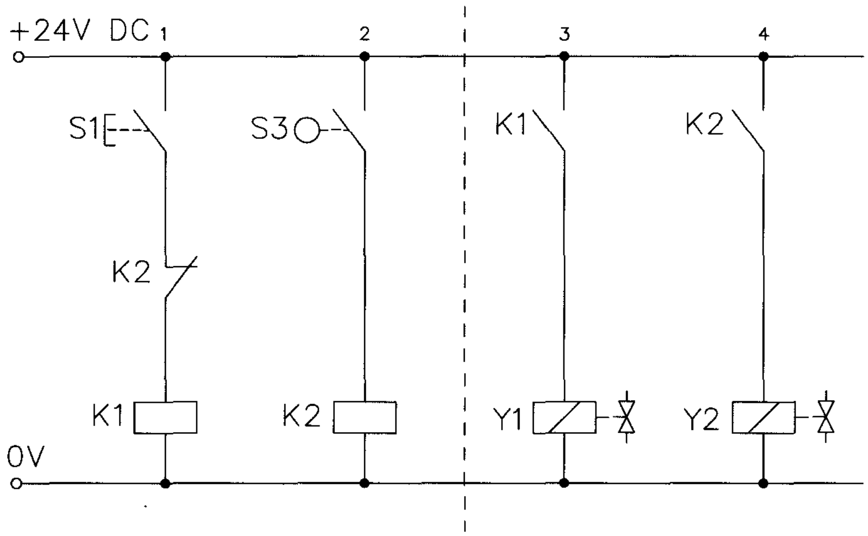
Metoda penggambaran **diagram rangkaian elektrik** :

- Lay-out rangkaian agar disusun mengikuti aliran signal elektrik pada rantai kontrol yaitu dari kutup positif ke negatif dan dari atas ke bawah.



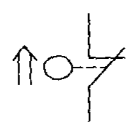
Gambar 4.34 Susunan rangkaian Pneumatik

- Rangkaian yang menggunakan kontrol-kontrol relay dapat dibagi atas bagian kontrol dan bagian daya (power) dan komponennya disusun dari kiri ke kanan sesuai dengan urutan operasi. Ini hanya merupakan suatu anjuran bila mungkin disusun seperti itu. (lihat gambar 4.35 dan gambar 4.36)



Gambar 2.35 Susunan rangkaian elektrik

Dalam penggambaran diagram rangkaian , baik rangkaian pneumatik maupun rangkaian elektrik, keadaan elemen atau komponen digambar pada posisi awal mesin tersebut misalnya switch normaly open digambar closed (tersambung) karena memang posisi awal mesin menghendaki seperti itu. Lihat gambar 4-36. Switch NO digambar closed dengan tambahan tanda panah.



Gb.4.36 Switch NO dalam keadaan tersambung

Jadi hal penting dalam sistem operasi adalah pengembangan dan pemeliharaan dokumen-dokumen yang menyediakan informasi-informasi yang komplit dan akurat tentang :

- Urutan kerja dari sistem. Informasi ini akan digunakan baik oleh desainer maupun oleh maintener (Petugas pemeliharaan).

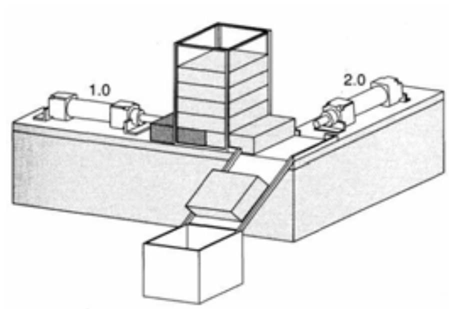
- Sambungan antar komponen di dalam rangkaian Instalatur dan pemakai perlu memahami cara kerja rangkaian. Ini perlu wiring diagram yang menunjukkan nomor dan titik sambungan.
- Fungsi dari rangkaian disajikan tanpa tambahan-tambahan informasi yang tak perlu. Apabila rangkaian cukup kompleks maka informasinya perlu didapat dari kombinasi antara rangkaian diagram dan wiring diagram.

4.3 Positional Diagram

Prosedur untuk mengembangkan sistem kontrol biasanya mengikuti prosedur sbb:

a. Perancangan proyek
   1. Pemilihan dan konfigurasi perlengkapan listrik pneumatik
   2. Implementasi (dalam pembuatan dan uji coba)

   Dapat dilihat pada gambar sbb:



Gambar 4.37 Positional diagram

Dalam step rancangan proyek harus diformulasikan dan didefinisikan tugas yang akan diimpelementasikan dengan ketentuan adanya :

- sketsa posisi (posisi sketsa/positional diagram)
- penentuan kebutuhan

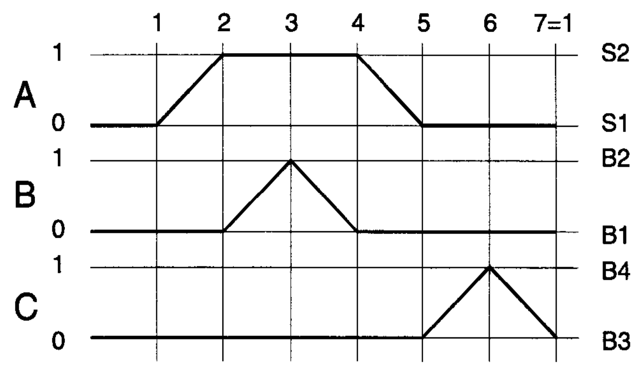
Perancangan dari suatu proyek kontrol dimulai dengan menuliskan formulasi dari tugas kontrol. Semua persyaratan yang seksama,cermat dan jelas didefinisikan. Alat bantu bertikut ini telah terbukti bermanfaat dalam pekerjaan.Sketsa posisi diperlukan untuk menunjukkan pengaturan ruang dari unit-unit penggerak

- Displacement Step Diagram

Rangkaian pergerakan dari suatu sistem kontrol elektropneumatik digambarkan dalam bentuk grafis dengan suatu diagram fungsi atau disebut juga *displacement step diagram*. Diagram fungsi ini menggambarkan step perpindahan dari beberapa aktuator yang bekerja berdasarkan waktu dan urutan perpindahan tertentu (sequensial).Diagram fungsi di buat jika silinder yang diperlukan lebih dari satu.

Contoh:

Diagram fungsi dari tiga buah actuator, digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.38. Diagram step pemindahan

Urutan perpindahan ketiga aktuator tersebut adalah : A+;B+;B-;A-;C+;C-

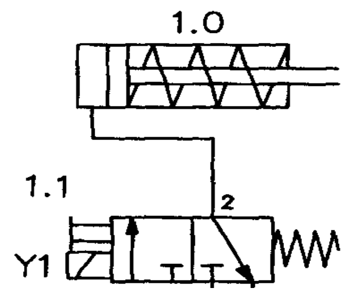
4.4 .Contoh Aplikasi Kontrol Elektropneumatik

1. Rangkaian Single Actuator

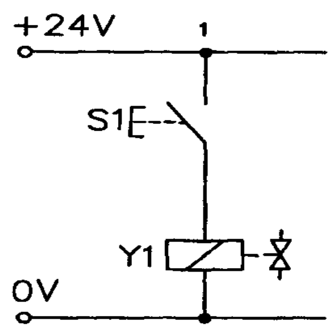
Untuk pengembangan rangkaian elektropneumatik kita awali dengan pengembangan diagram rangkaian . Berikut ini adalah diagram rangkaian elektropneumatik yang terdiri atas diagram rangkaian pneumatik dan diagram rangkaian elektrik .

Perhatikan gambar 4.39 di samping ini.

Apabila push button switch S1 (gambar bawah) ditekan arus akan mengalir dari kutup positif (+24 V) ke solenoid Y1. Solenoid bekerja mengubah posisi katup 1.1 hingga katup 1.1 membuka mengalirkan udara kempa ke silinder 1.0. Udara kempa mendorong piston bergerak maju. Apabila push button dilepas, arus terputus, solenoid tidak bekerja lagi dan pegas katup 1.1 kembali ke posisi semula dan akhirnya udara kempa keluar ke atmosfir. Piston kembali ke posisi semula oleh dorongan pegas.

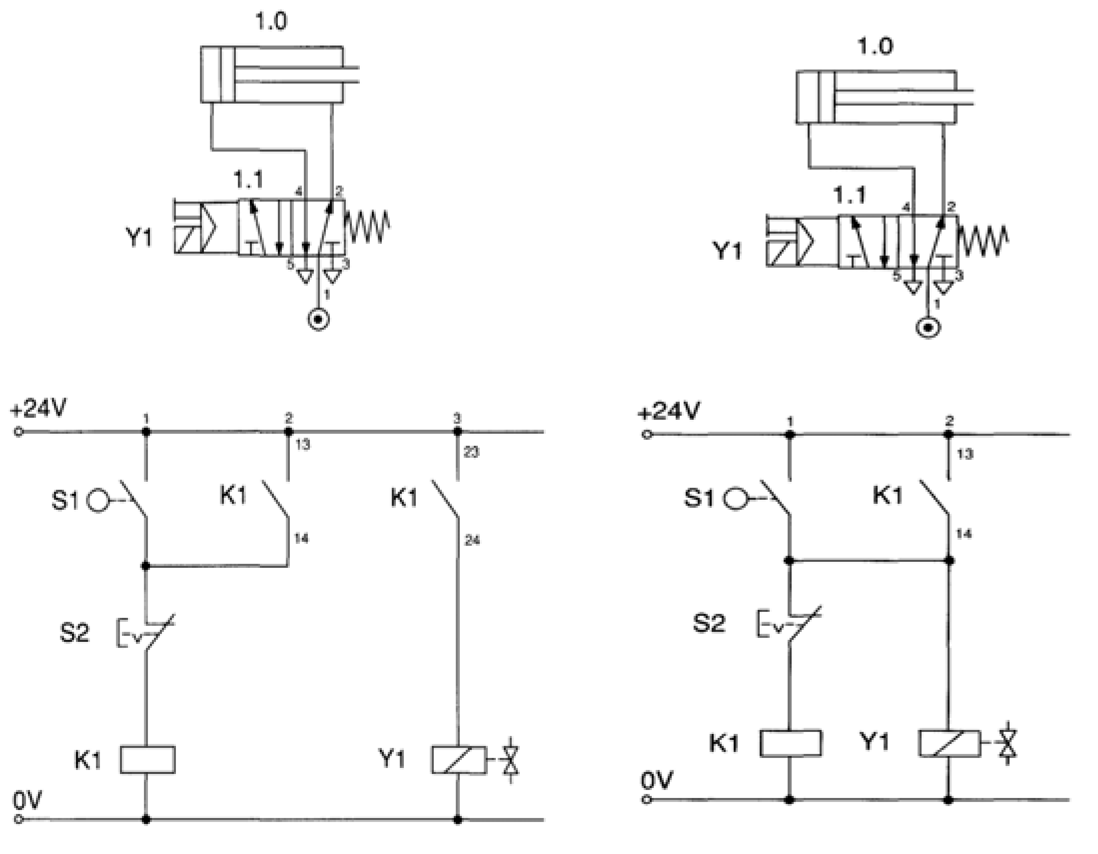


Gb.2.39 Direct control



Contoh 1.

Gambar 4.40a dan 4.40b adalah contoh rangkaian elektropneumatik dengan memory-circuit dominan reset. Coba pelajari cara kerjanya dan apakah benar kedua rangkaian tersebut memang sama-sama dapat mengunci . Pelajari juga dimana letak perbedaannya.

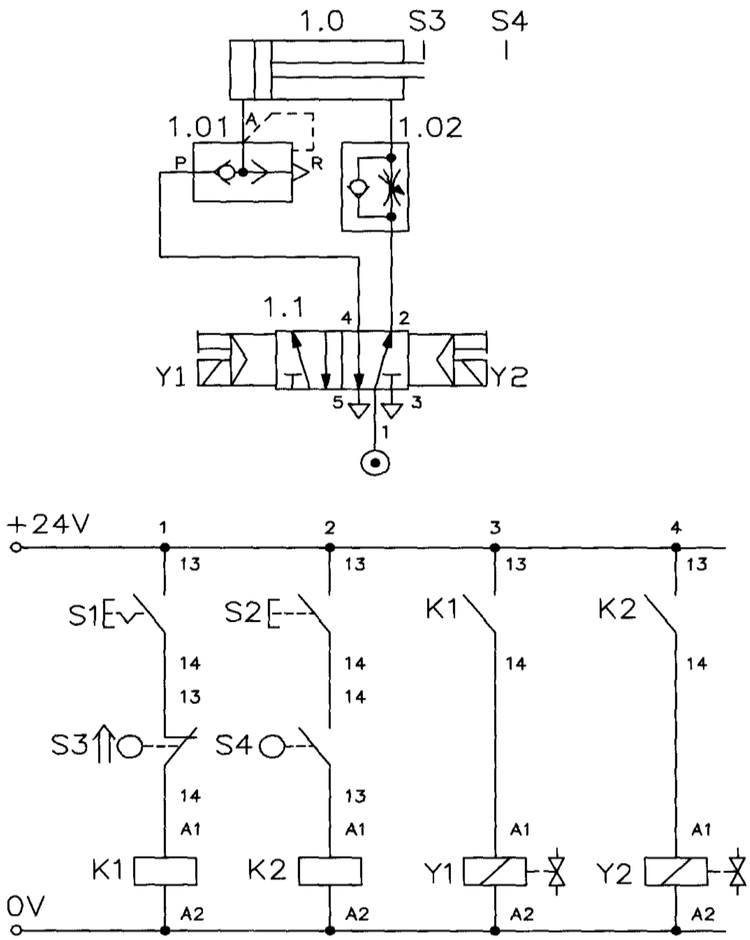


(a)(b)

Gambar 4.40 rangkaian elektropneumatik dengan memory-circuit dominan reset

Contoh 2.

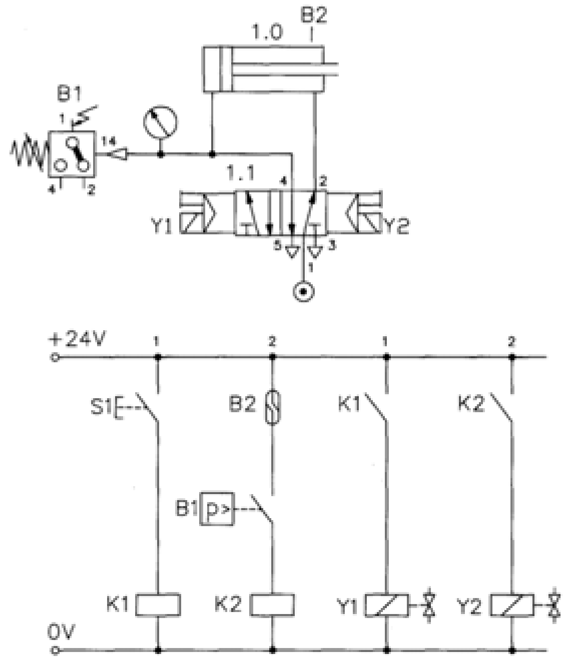
Rangkaian yang mendeteksi akhir langkah maju dan langkah mundur. S1 adalah saklar (switch) yang tidak otomatis reset. S3 adalah switch normaly open (NO) yang pada posisi awal dalam keadaan operasi (closed) yang ditandai dengan tanda panah. Apabila S1 dan S2 dioperasikan terus rangkaian ini akan bekerja otomatis dan kontinyu. Langkah mundur lebih cepat karena adanya quick exhaust valve(1.01) sedang langkah maju diatur oleh flow control (1.02) . Perhatikan gambar 4.41 di bawah ini.



Gambar 4.41 Rangkaian yang mendeteksi akhir langkah maju dan langkah mundur.

Contoh 3.

Rangkaian pada gambar 2.39 di bawah ini menunjukkan bahwa terjadinya kontrol bergantung pada tercapainya tekanan pada PE converter (B1). Reed switch B2 akan tersambung (closed) apabila piston telah menjangkau medan magnet pada reed switch (posisi akhir langkah maju). Tetepi walaupun B2 telah tersambung , sedang B1 belum tersambung , arus bulum dapat mengalir ke coil relay K2 sehingga kontak relay K2 pun belum bekerja. Selama menunggu tekanan pada B1, batang torak tetap berada pada posisi depan.

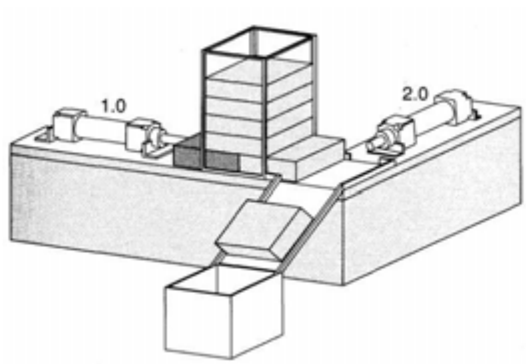


Gambar 2.42 Rangkaian menggunakan reed switch dan PE converter.

2. Diagram Rangkaian dua aktuator

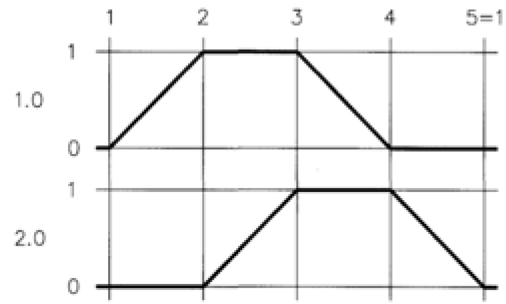
Contoh 1.

Rangkaian pneumatik yang digunakan untuk memindahkan suatu benda kerja dari satu posisi ke posisi yang lain . Lihat gambar 4.43: Sket posisi.



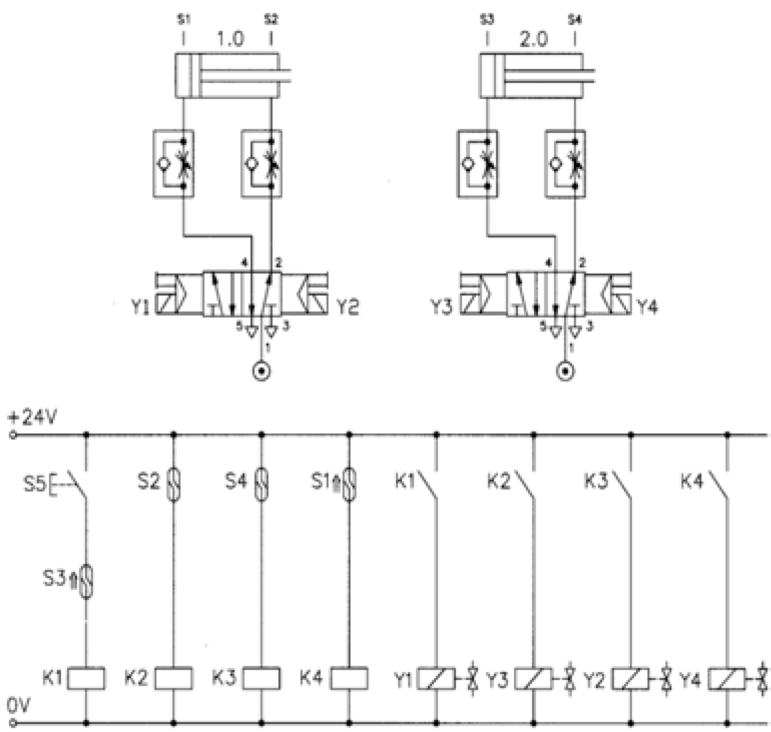
Gambar 4.43 Sket posisi

Urutan kerja dari actuator 1.0 (A) dan 2.0 (B) adalah: A+, B+, A-, B- . Urutan kerja ini dapat dilihat pada diagram step pemindahan (desplacement step diagram) gambar 2.44berikut.



Gambar 4.44 Displacement step diagram

Bentuk diagram rangkaian untuk rangkaian pneumatik tersebut di atas adalah seperti gambar 4.45 berikut ini. Perhatikan diagram ini dan analisis cara kerjanya.



Gambar 4.45: Diagram SIRKIT elektropneumatik dengan urutan gerak : A+, B+, A-, B-

Rangkuman

Sebelum membuat atau membangun aplikasi sistem kontrol elektropneumatik diperlukan suatu rancangan atau desain kontrol dengan membuat sketsa posisi,positional program,diagram layout pneumatik ,diagram sirkit elektrik,dan jika di rancang menggunakan desain kontrol berurutan maka diperlukan displacement diagram untuk mempermudah dalam membuat diagram sirkit elektrik.

Pengontrolan elektropneumatik mempunyai keuntungan berikut ini dibandingkan dengan kontrol pneumatik :

- Keandalan yang tinggi (lebih sedikit bagian yang bergerak sehingga dapat mengurangi tingkat keausan yang diakibatkan oleh pemakaian).
- Perencanaan dan upaya uji serah terima lebih rendah, terutama untuk pengontrolan yang rumit.
- Upaya instalasi lebih randah, terutama ketika pengintalan komponen-komponen, seperti terminal-terminal katup yang digunakan.
- Perubahan informasi yang lebih mudah diantara beberapa kontroler.

Pengontrolan-pengontrolan elektropneumatik telah diapilkasikan di Industri Modern dan aplikasi sistem kontrol pneumatik murni terbatas pada beberapa aplikasi khusus.

Evaluasi

1. Sebutkan beberapa penerapan pengontrolan pneumatik maupun elektropneumatik pada industr-industri modern

   …………………………………………………………………………………….

   …………………………………………………………………………………….

2. Tentukan komponen-komponen yang anda ketahui pada sistem kontrol elektropneumatik. Serta jelaskan prinsip kerjanya !

   ……………………………………………………………………………………..

   ……………………………………………………………………………………..

3. Jelaskan kegunaan dari diagram fungsi dan *displacement step diagram* pada rangkaian kontrol elektropneumatik

   …………………………………………………………………………………….

   …………………………………………………………………………………….

4. Jelaskan prinsip kerja *timer On-delay*, *Off-delay* dan *Counter*. Terapkan pada rangkaian (boleh menggunakan Software simulasi Fluidsim)

   …………………………………………………………………………………….

   …………………………………………………………………………………….

5. Mesin bor (drill) dengan konstruksi sedemikian dimana memiliki 2 (dua) buah silinder. Silinder A bergerak ke bawah menjepit benda kerja yang akan dibor selama 10 detik. Saat silinder A mundur secara bersamaan Silinder B mendorong benda kerja kemudian kembali ke posisi semula. Silinder A mulai bekerja setelah menerima sinyal keberadaan benda kerja. Sinyal tersebut akan hilang saat silinder B mendorong benda kerja.

   Buatlah desain dari mesin bor tersebut dengan langkah-langkah :

   a. Tentukan displacement step penggerak
   b. Tentukan Komponen elektropneumatik yang digunakan
   c. Buatlah rangkaian kontrolnya (diagram kelistrikan dan pneumatik)

   Catatan : Rangkaian diujicobakan pada software Fluidsim

Lembar Kerja 4

Catatan :

Untuk menyelesaikan tugas-tugas berikut dianjurkan setiap peserta bekerja secara individual dengan bantuan software Fluidsim. Apabila hal itu tidak memungkinkan, dapat dilaksanakan kerja kelompok maksimum dua orang setiap kelompok (group.).

Tugas 1 (Direct&indirect control)

Perhatikan diagram elektropneumatik di samping, kemudian selesaikan tugas-tugas berikut :

2.1 Sebutkan nama-nama komponen pneumatik yang ada dalam SIRKIT .

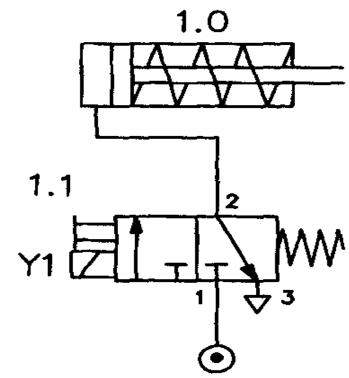
- ……………………………………..
- ……………………………………..
- ……………………………………..

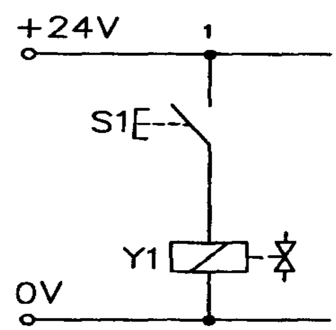
2.2 Sebutkan pula komponen –komponen elektrik yang ada pada SIRKIT (a) maupun SIRKIT (b)

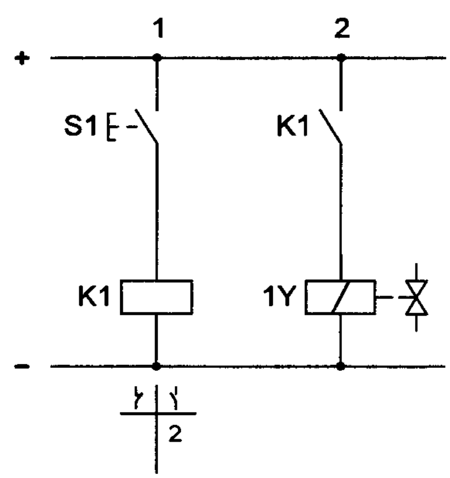
- ………………………………………
- ………………………………………..
- ………………………………………..
- ………………………………………..
- …………………………………………
- …………………………………………
- …………………………………………

2.3 Jelaskan cara kerja SIRKIT elektropneumatik untuk (a) dan (b).

2.4 Gambarkan sirkit a dan b menggunakaı software Fluidsim

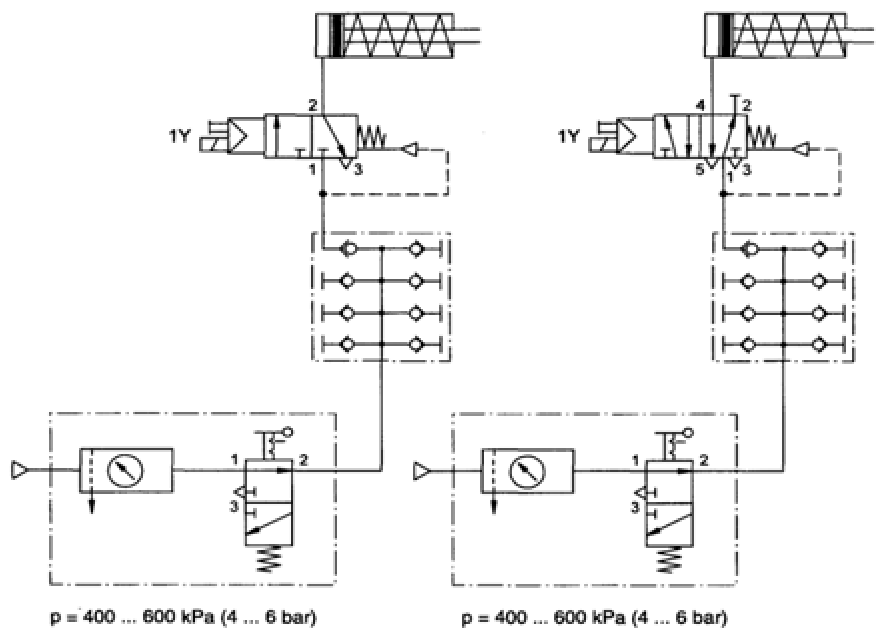


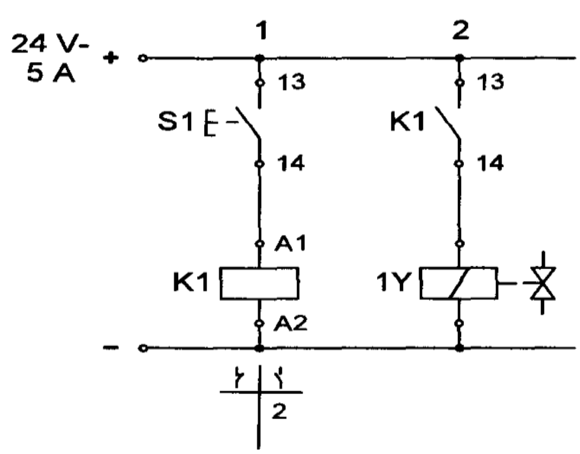




Tugas 2 (Indirect control)

Gambar berikut ini adalah diagram SIRKIT design. Bandingkan dengan tugas 2, kemudian jelaskan cara kerjanya dan gambarkan pula SIRKIT tersebut pada software Fluidsim!

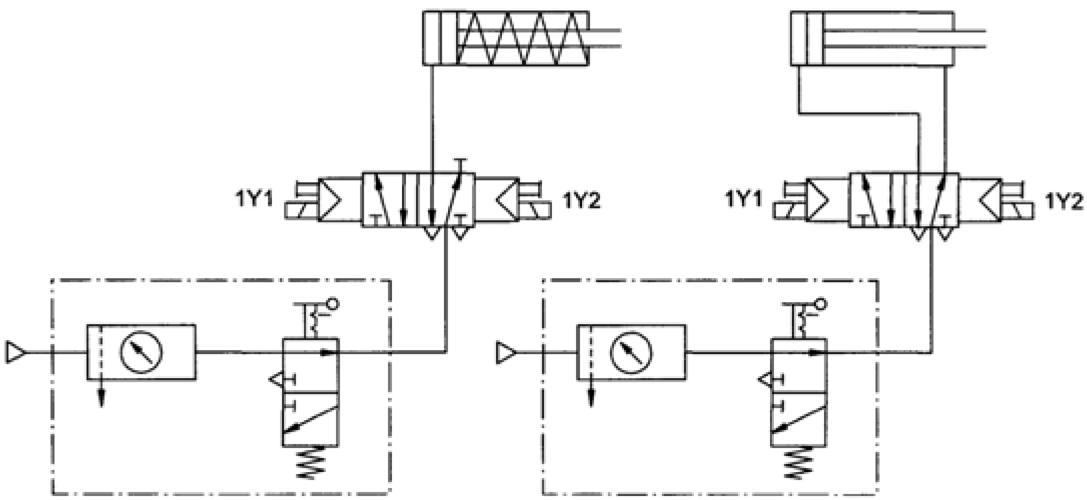




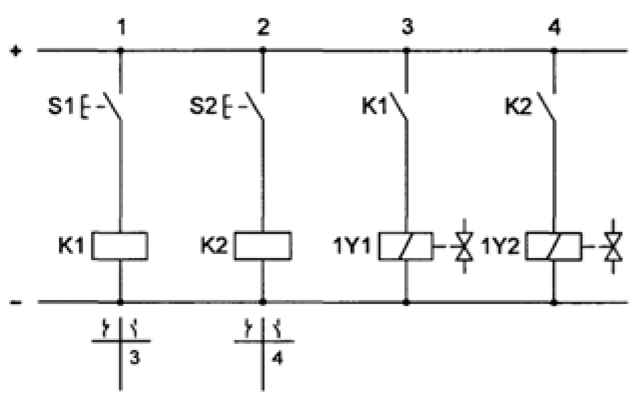
Tugas 3 (Indirect control double solenoid)

Diagram SIRKIT di bawah ini menunjukkan SIRKIT yang menggunakan katup 5/2 , double solenoid untuk mengoperasikan double-acting cylinder dan single acting cylinder.

- Jelaskan cara kerja masing-masing
- gambarkan SIRKIT tersebut pada software Fluidsim!
- Coba analisis efisiensi penggunaan katup 5/2 double solenoid untuk mengoperasikan silinder kerja tunggal.
- Coba fikirkan bagaimana mengoperasikan silinder kerja ganda menggunakan katup 3/2 single solenoid.



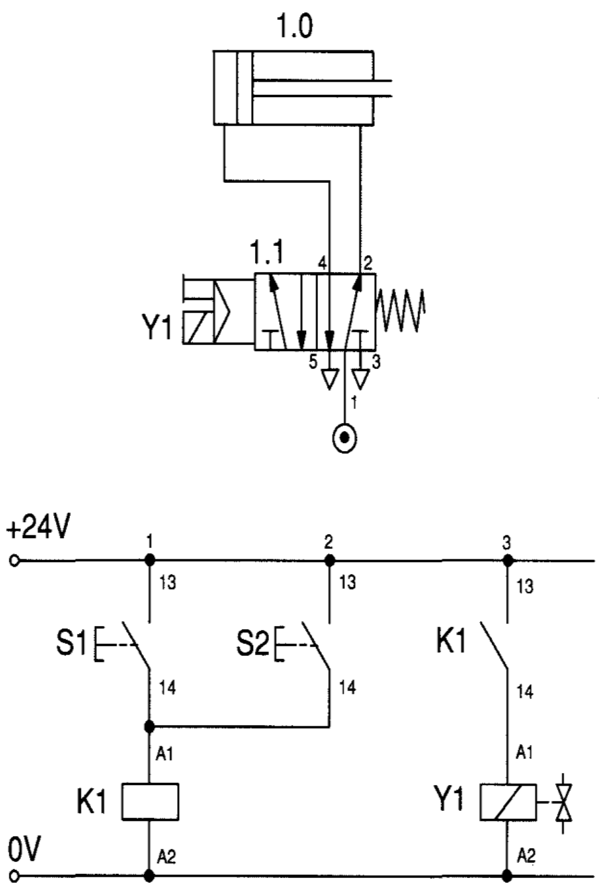
Representation without manifold

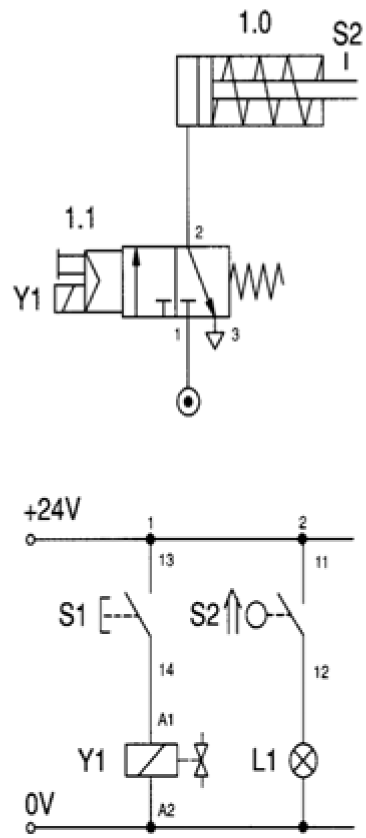


Tugas 4 (Fungsi logic)

Gambar diagram SIRKIT di bawah ini menunjukkan SIRKIT yang menggunakan fungsi logic OR (gambar a) dan fungsi logic NOT (gambar b).

- Sebutkan nama-nama komponennya
- Analisis cara kerja masing-masing
- Gambarkan SIRKIT tersebut pada software Fluidsim!



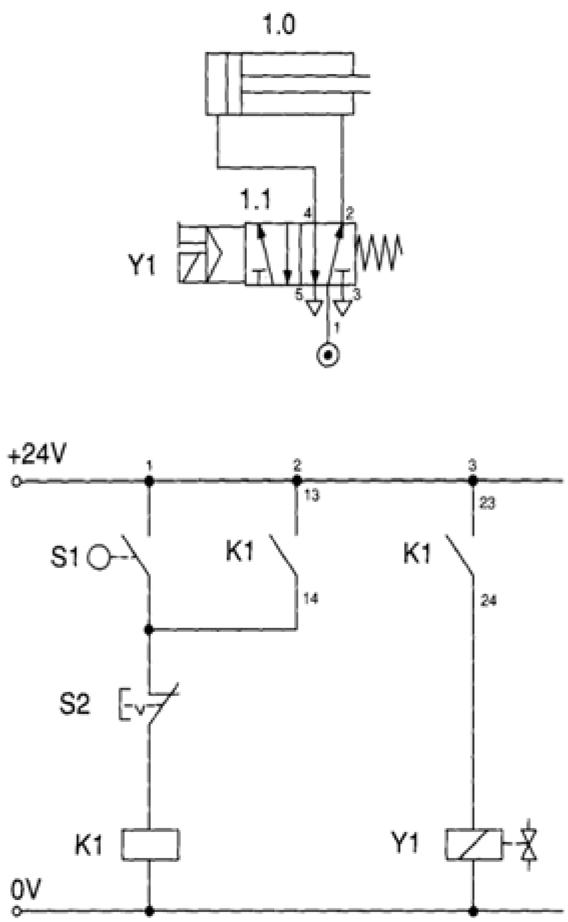


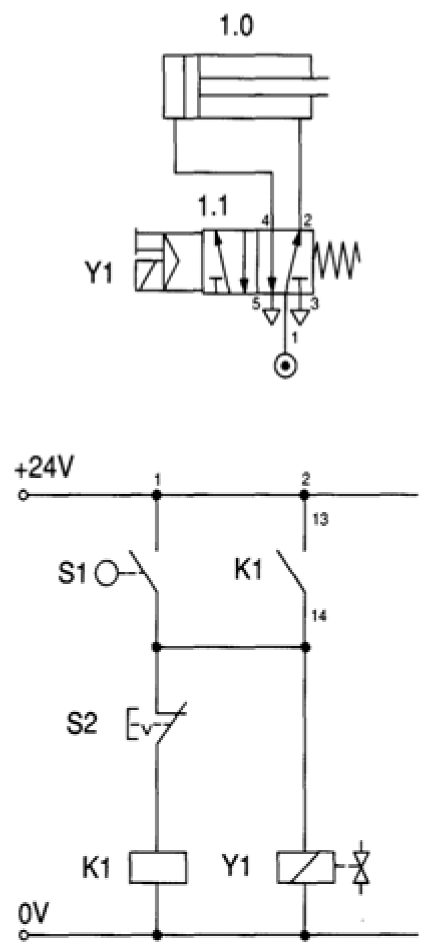
Tugas 5 (SIRKIT mengunci)

Diagram SIRKIT di bawah ini menunjukkan SIRKIT mengunci atau memory circuit dengan dominant reset. Diagram (a) dan (b) fungsinya sama hanya wiringnya yang sedikit berbeda.

Coba :

- Jelaskan cara bekerjanya.
- Gambarkan SIRKIT tersebut pada software Fluidsim!
- Buatlah analisis , SIRKIT yang mana yang anda sukai dan berikan alasan anda.

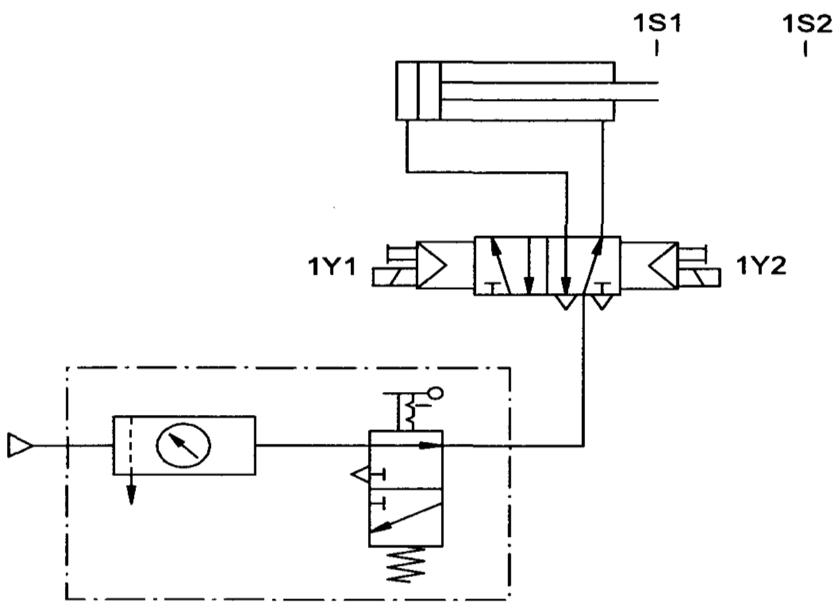




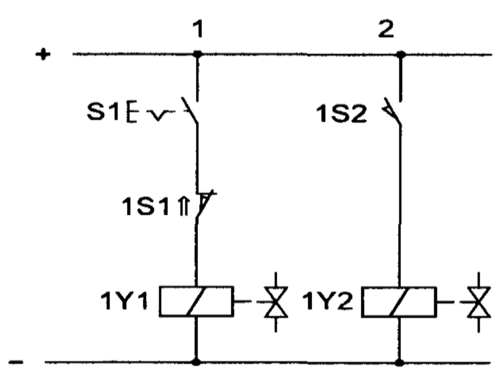
Tugas 6 (SIRKIT otomatis direct control)

Sebuah roda penggerak konveyor diputar oleh pneumatik actuator double acting cylinder melalui poros engkol. Diagram SIRKIT   elektro pneumatiknya adalah seperti gambar dibawah .

- Coba jelaskan cara bekerja SIRKIT   tersebut.
- Gambarkan SIRKIT   tersebut pada software Fluidsim!



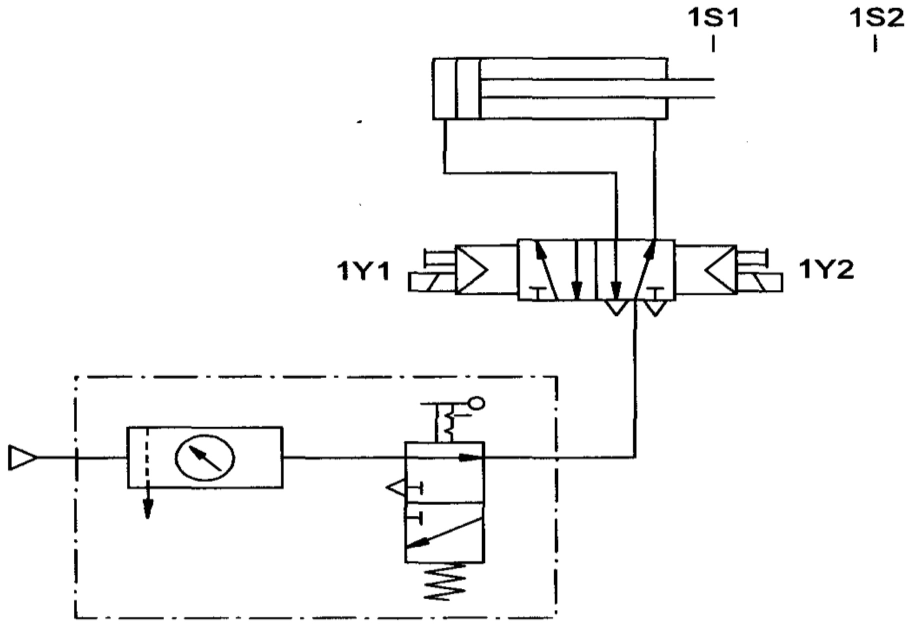
Representation without manifold



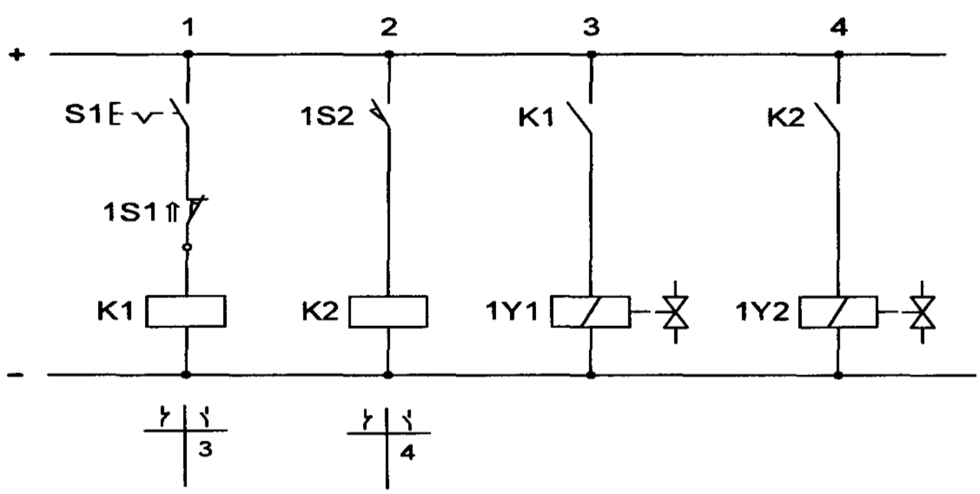
Tugas 7 (SIRKIT   otomatis indirect control)

Tugas nomor 7 ini seperti tugas nomor 6

- Coba analisis apa perbedaan antara tugas No:6 dan tugas No:7
- Jelaskan cara bekerjanya.
- Gambarkan SIRKIT   tersebut pada software Fluidsim!



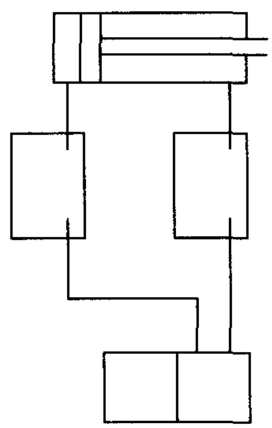
Representation without manifold

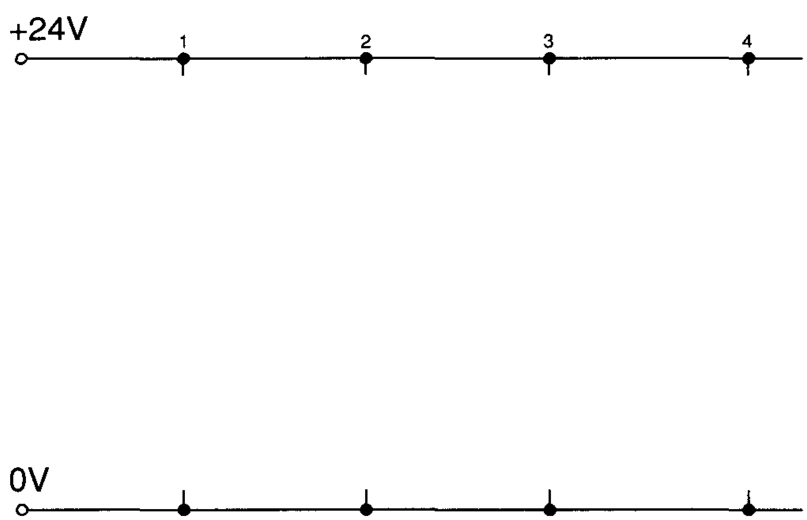


Tugas 8 (SIRKIT otomatis)

Selesaikan diagram SIRKIT pneumatik dan SIRKIT elektrik di bawah ini,apabila cara kerja SIRKIT adalah sebagai berikut :

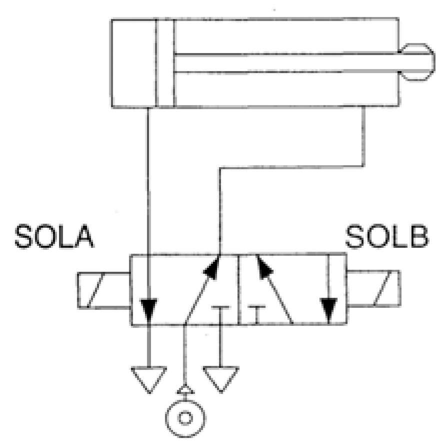
Pada posisi awal seperti gambar, sensor switch NO yang dipasang pada akhir langkah mundur tersambung. Apabila switch ON/OFF di ON kan , piston bergerak maju. Pada akhir langkah maju switch NO ditekan oleh piston sehingga piston bergerak mundur. Gerak maju dapat diatur sedang gerak mundur dipercepat. Demikian seterusnya selama switch ON/OFF atau saklar dioperasikan , SIRKIT tetap berjalan.. Gambarkan SIRKIT tersebut pada software Fluidsim!

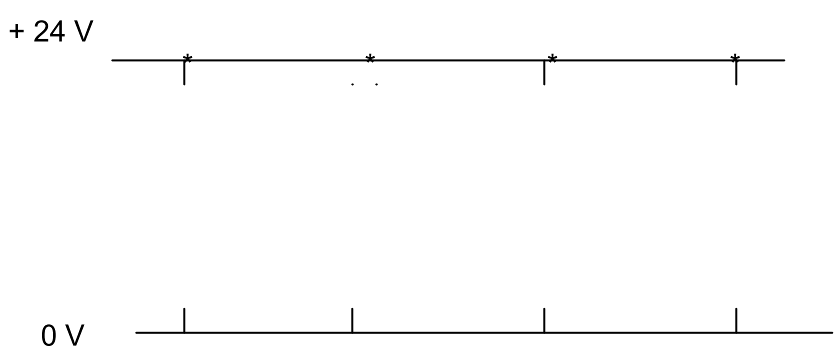




Tugas 9 (SIRKIT interlock)

Selesaikan diagram SIRKIT di bawah ini ,untuk SIRKIT intterloct,yaitu apabila salah satu solenoid masih diberi arus maka solenoid yang lain tidak dapat dioperasikan. Gambarkan SIRKIT   tersebut pada software Fluidsim!





Umpan Balik dan Tindak Lanjut

- ✓ Umpan Balik

  Sudahkah anda mampu:

  - Mengidentifikasi elemen kontrol elektropneumatik
  - Mengenal simbol pneumatik dan elektrik pada sistem elektropneumatik
  - Mambaca diagram kontrol elektropneumatik
  - Membuat diagram kontrol elektropneumatik
  - Membuat rancangan sistem kontrol elektropneumatik

- ✓ Tindak Lanjut

  Siswa dapat mengaplikasikan kontrol elektropnumatik

A. KEGIATAN BELAJAR 5: APLIKASI KONTROL ELEKTROPNUMATIK

Indikator Keberhasilan

Diharapkan peserta diklat dapat:

- Mengembangkan sistem kontrol elektropnumatik
- Mengaplikasikan kontrol elektropnumatik

5.1Prosedur untuk mengembangkan sistem kontrol.

Aplikasi elektropneumatik berkisar dari proses kerja yang terotomasi sebagaian sampai keseluruhan fasilitas produksi yang terotomasi dengan berbagai proses. Dengan demikian rancangan dan batasan fungsi dari sistem kontrol semacam ini akan sangat berbeda-beda. Sistem kontrol elektropneumatik dikembangkan secara individu dan dirancang khusus untuk suatu proyek tertentu. Pengembangan dari sistem kontrol ini meliputi :

- Perancangan proyek (persiapan rencana dan dokumen yang diperlukan).
- Pemilihan dan konfigurasi perlengkapan kelistrikan dan pneumatik.
- Implementasi (dalam pembuatan dan uji coba serah terima).

Prosedur yang sistematik langkah demi langkah akan membantu untuk menghidarkan kesalahan. Prosedur ini juga akan memudahkan untuk menetapkan biaya dan menjaga ketepatan waktu. Gambar 4-1 menunjukan suatu tinjauan dari langkah-langkah masing-masing dalam pengembangan pengontrolan.

5.2 Prosedur perancangan proyek.

1. Rancangan proyek.

1.1 Formulasi dan difinisi tugas
- Sketsa posisi
- Penentuan kebutuhan

1.2 Penetapan bagian mana untuk mengimplementasikan sistem kontrol
- Perancangan konseptual
- Pemilihan komponen

1.3 Representasikan grafik dari sistem kontrol
- Bagian fungsi and/or
- Diagram fungsi

1.4 Perancangan sistem kontrol
- Diagram rangkaian pneumatik
- Diagram rangkaian elektrik
- Diagram terminal
- Daftar suku cadang

2. Implementasi

2.1 Perolehan komponen

2.2 Pemasangan
- Pemasangan komponen
- Pengkabelan bagian rangkaian kontrol
- Pemipaan bagian rangkaian daya

2.3 Pemrograman pada PLC

2.4 Uji serah terima (commisioning)
- Pemantauan program (apabila menggunakan PLC
- Pengujian fungsi
- Implementasi dari perubahan yang diperlukan
- Memperbaharui dokumentasi
- Persiapan dari sertifikat uji penerimaan

Perancangan proyek untuk sistem kontrol elektro pneumatik meliputi (lihat tabel 5-1) :

- Formulasi dari fungsi pengontrolan dan ketetapan persyaratan yang harus dipenuhi oleh sistem kontrol tersebut.
- Perancangan konseptual dari sistem kontrol dan pemilihan komponen-komponen yang diperlukan.
- Representasi grafis dari fungsi pengontrolan tersebut.
- Perencanaan sistem pengontrolan dan persiapan diagram serta daftar suku cadang.

Berbagai langkah dalam perancangan proyek dijelaskan dan digambarkan dengan alat bantu suatu contoh.
Perancangan dari suatu proyek kontrol dimulai dengan menuliskan formulasi dari fungsi kontrol dengan persyaratan tertentu yang harus dicermati dan didefinisikan. Alat bantu ini bermanfaat dalam perancangan :

- Daftar untuk mencacat semua persyaratan secara cepat dan lengkap (tabel 5-1).
- Tabel-tabel yang mendata unit-unit penggerak, katup dan sensor.
- Sketsa posisi yang menunjukan pengaturan ruang dari unit-unit penggerak.

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh sistem kontrol harus disepakati bersama oleh pengembang dan operator sistem kontrol tersebut. Hal ini juga merupakan manfaat apabila pengembangan dari sistem kontrol telah memahami kondisi sekitar dan keadaan pemasangan di lokasi.

Tabel 5-1. Daftar untuk mengklarifikasi persyaratan kontrol elektropneumatik.

Elemen kontrol yang diperlukan	Kontrol operator
	Modus operandi yang diperlukan
	Indikator, displai dan lampu peringatan
Jumlah penggerak	Unit penggerak :
	- Fungsi

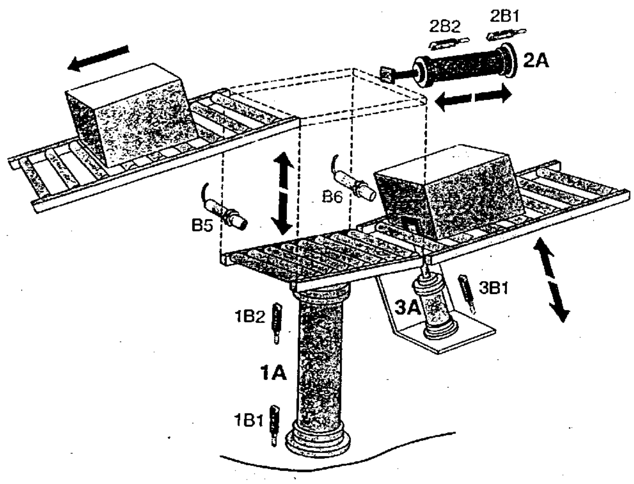
	- Daya yang diperlukan
	- Langkah yang diperlukan
	- Kecepatan pergerakkan
	- Pengereman gerak
	- Pengaturan ruang
	- Fungsi tambahan
	- Posisi awal
Rangkaian gerak	Urutan dari gerakan penggerak
	Jumlah langkah pada rangkaian gerak
	Kondisi yang memungkinkan langkah
	Waktu tunggu yang diperlukan
	Waktu daur yang diperlukan
	Komunikasi dengan sistem kontrol lain
Sensor	Saklar proksimitas yang diperlukan
	Saklar tekan yang diperlukan
	Sensor lain
	Input dan output sinyal lain
Kendala	Ruang pemasangan
	Perilaku dalam hal kegagalan dalam tenaga
	Perilaku dalam hal penghentian darurat
	Perilaku dalam menanggapi kesalahan lain
	Kondisi sekeliling (temperatur, debu, air)
	Langkah-langkah perlindungan yang diperlukan
	Persyaratan lain.

5.3 Aplikasi : alat penggangkat.

Alat pengangkat akan mengalihkan benda kerja dari satu konveyor ke konveyor lainnya pada ketinggian yang berbeda. Aplikasi ini dirancang dengan sistem kontrol elektropneumatik.

Sketsa posisi dari alat pengangkat ini ditunjukan dalam gambar 5-2, terdapat tiga penggerak pneumatik :

- Penggerak 1A mengangkat benda kerja.
- Penggerak 2A mendorong benda kerja ke konveyor atas.
- Penggerak 3A digunakan sebagai pemberhentian, untuk melepaskan dan menahan pasokan benda kerja.



Gambar 5-2. Sketsa posisional alat pengangkat.

Silinder 1A mensyaratkan langkah 500 mm dan catu daya sekurang-kurangnya 600 N, silinder 2A mensyaratkan langkah 250 mm dan catu daya sekurang-kurangnya 400 N. Silinder 3A mensyaratkan langkah 20 mm dan catu daya sekurang-kurangnya 40 N. Kecepatan silinder 1A dan 2A yang variabel diperlukan untuk gerakan maju dan mundur batang piston. Sistem kontrol harus memungkinkan adanya peredaman dari pergerakkan silinder 1A dan 2A.

Untuk mencegah kemungkinan terjadi kerusakan akibat dari kegagalan daya listrik, maka batang piston silinder 1A dan 2A akan diredam dengan segera dan tetap diam.Pergerakkan dari alat pengangkat diuraikan dalam tabel 5-2 (lihat sketsa posisi, gambar 5-2). Siklusnya terdiri dari 4 langkah,

Tabel 5-2. Siklus pergerakkan alat pengangkat.

Langkah	Pergerakan batang piston silinder 1A	Pergerakan batang piston silinder 2A	Pergerakan batang piston silinder 3A	Kondisi akhir	Komentar
1	Tidak ada	Tidak ada	Mundur	B6 terpicu	Piranti terbuka
2	Maju	Tidak ada	Maju	1B2 terpicu	Kemasan terangkat
3	Tidak ada	Maju	Tidak ada	2B2 terpicu	Mendorong keluar kemasan

4	Mundur	Mundur	Tidak ada	1B1, 2B1 terpicu	Bergerak mundur ke posisi semula

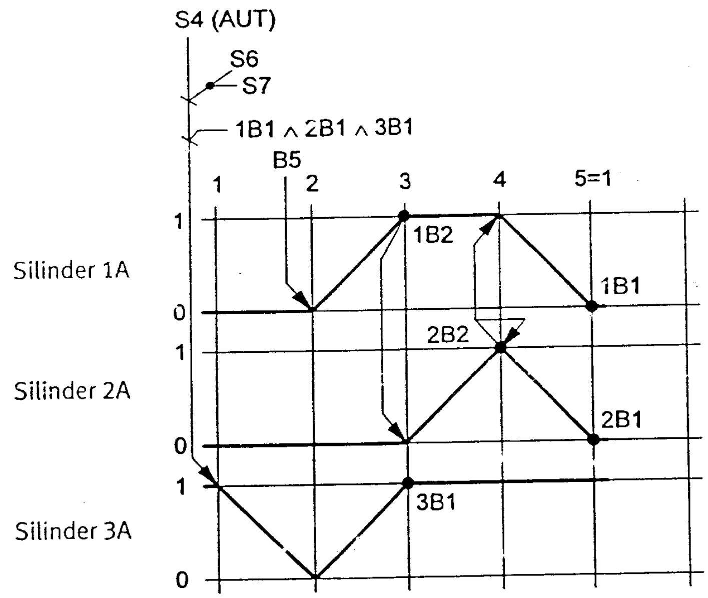
Sistem kontrol harus memungkinkan alat tersebut bisa dijalankan dengan siklus terus menerus (operasi yang berkelanjutan). Modus operandi tunggal juga diperlukan dimana rangkaian proses dilakukan secara cermat satu kali.

Langkah berikutnya mendata silinder, solenoid, sensor, elemen kontrol dan indikator (tabel 5-3). Komponen-komponen yang termasuk dalam rangkaian kontrol individu ditunjukkan pada jalur yang sama ditabel tersebut.

Tabel 5-3. Alokasi alat pengangkat.

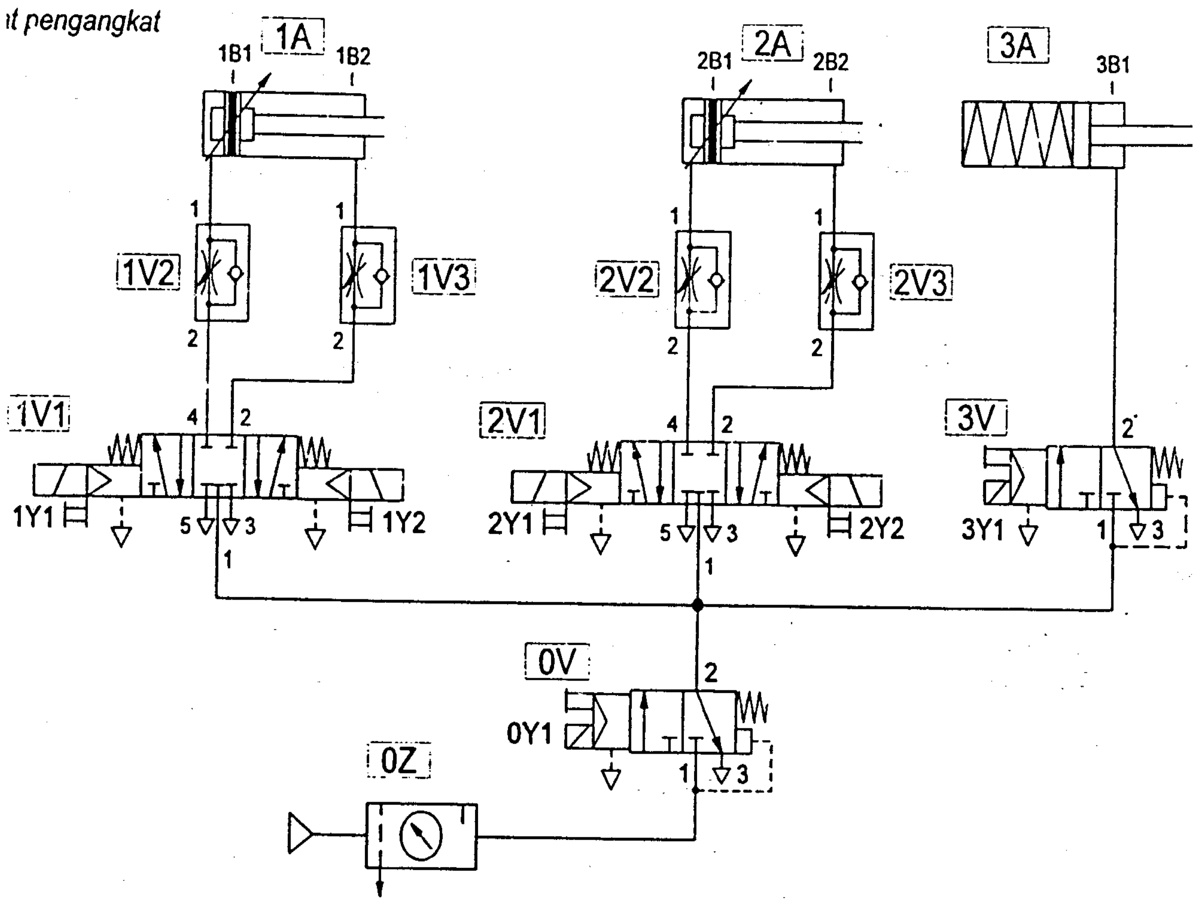
Fungsi	**Solenoid yang teraktuasi**			**Saklar proksimitas kontrol**			**Elemen**	**Komentar**
	Maju	Mundur	Lainnya	Maju	Mundur	Lainnya		
Silinder 1A	1Y1	1Y2	-	1B2	1B1			Kontrol 1
Silinder 2A	2Y1	2Y2	-	2B1	2B1			Kontrol 2
Silinder 3A			-	3B1				Kontrol 3
Udara			0Y1					Katup tekanan
						B5		Pengangkat
							S1	Utama
							S2	Emergensi
							S3	Manual
							S4	Otomatis
							S5	Reset
							S6	Siklus ON
							S7	Siklus STAR
							S8	OFF

Diagram langkah untuk pergerakan alat pengangkat ditunjukan pada gambar 5-4, diagram ini menunjukan langkah-langkah dimana batang piston dari ketiga silinder maju dan mundur dan ketiga saklar proksimitas.

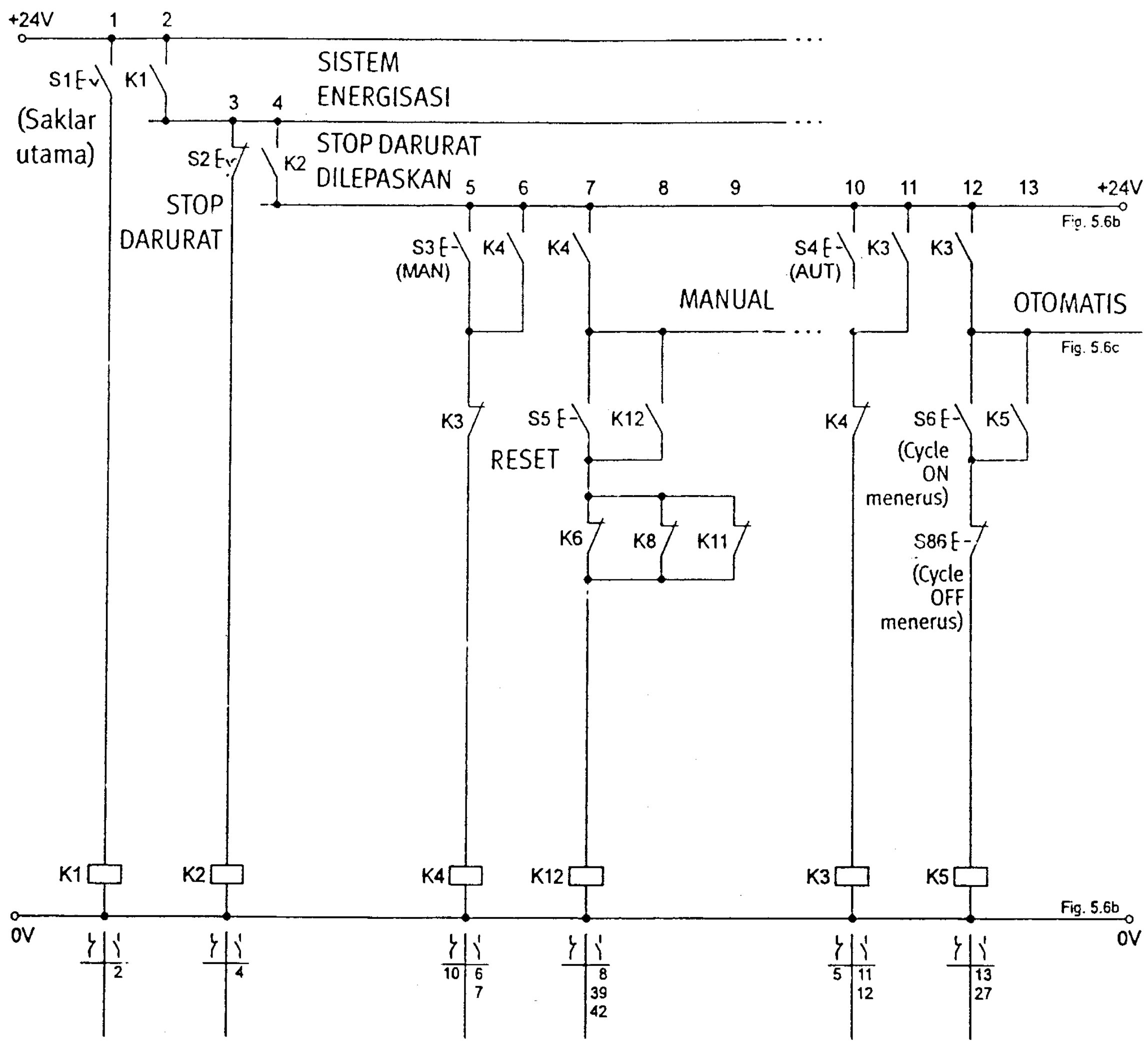


Gambar 5-4. Diagram langkah alat pengangkat.

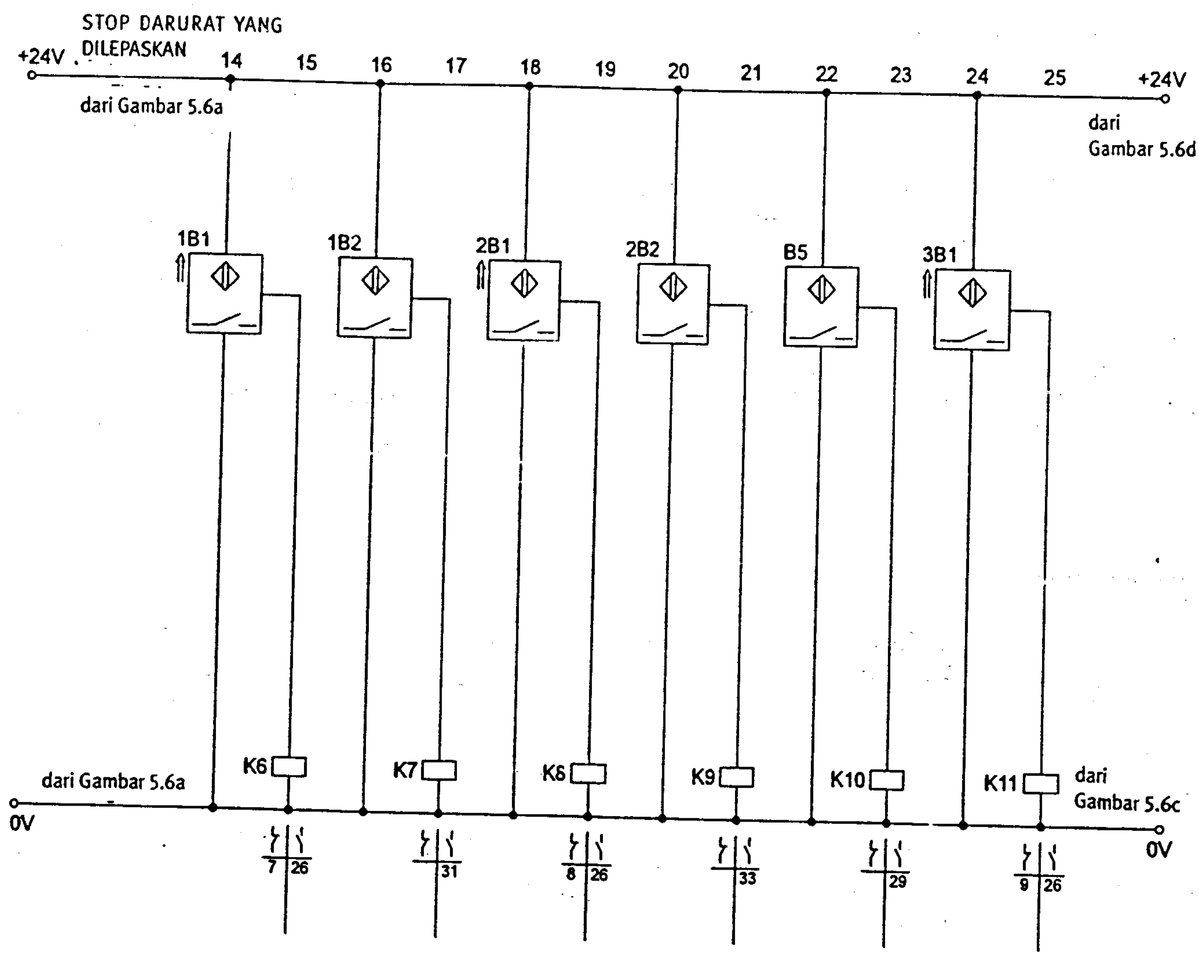
Diagram rangkaian listrik dan pneumatik untuk alat pengangkat ditunjukan pada gambar 5-5 dan 5-6. Masing-masing gerakan diaktuasikan oleh katup kontrol arah. Katup kontrol arah tambahan diaktuasikan oleh kumparan 0Y1, saklar udara terkompresi.



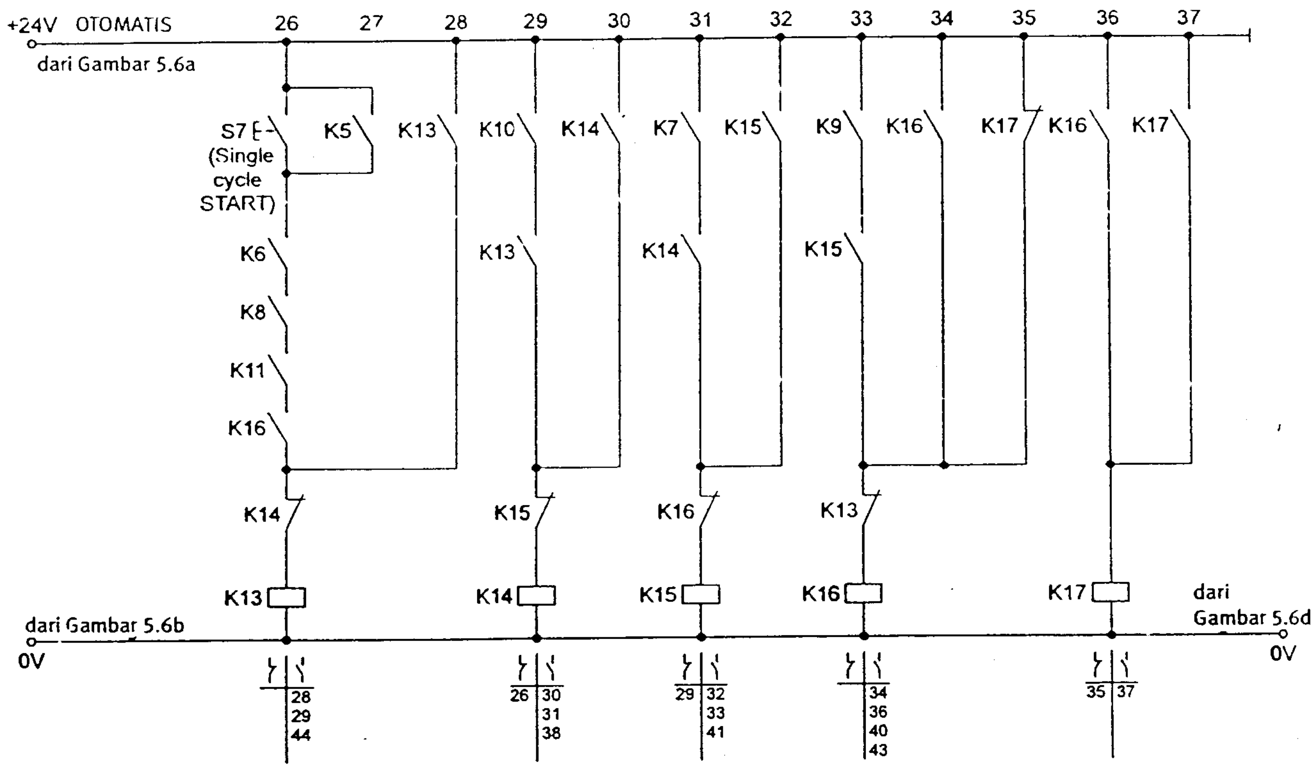
Gambar 5-5. Diagram rangkaian pneumatik dari alat pengangkat.



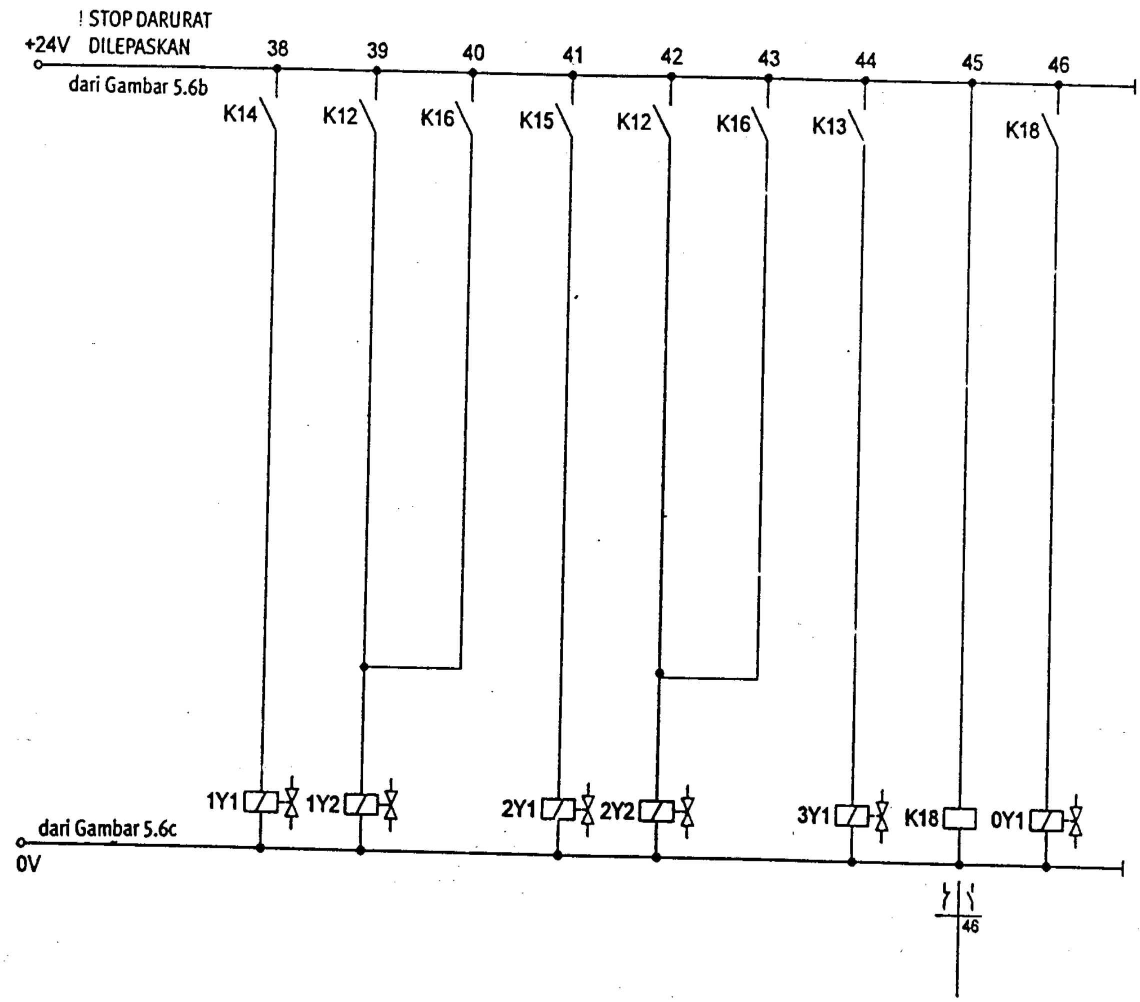
Gambar 5-6a. Diagram rangkaian kelistrikan dari alat pengangkat.



Gambar 5-6b. Diagram rangkaian sensor dari alat pengangkat.



Gambar 5-6c. Diagram rangkaian kelistrikan dari alat pengangkat.



Gambar 5-6e. Diagram rangkaian kelistrikan dari alat pengangkat.

5.4 Prosedur untuk mengimplementasikan sistem kontrol.

Implementasi sistem kontrol elektropneumatik, mensyaratkan :

- Memperoleh semua komponen yang diperlukan.
- Memasang sistem kontrol.
- Memprogram/Programming (apabila menggunakan PLC).
- Uji coba serah terima sistem kontrol.

Item-item berikut ini harus diperoleh sebelum memasang sistem kontrol tersebut :

- Diagram rangkaian lengkap dan diagram terminal.
- Semua komponen kelistrikan dan pneumatik sesuai dengan yang tercantum pada daftar suku cadang.

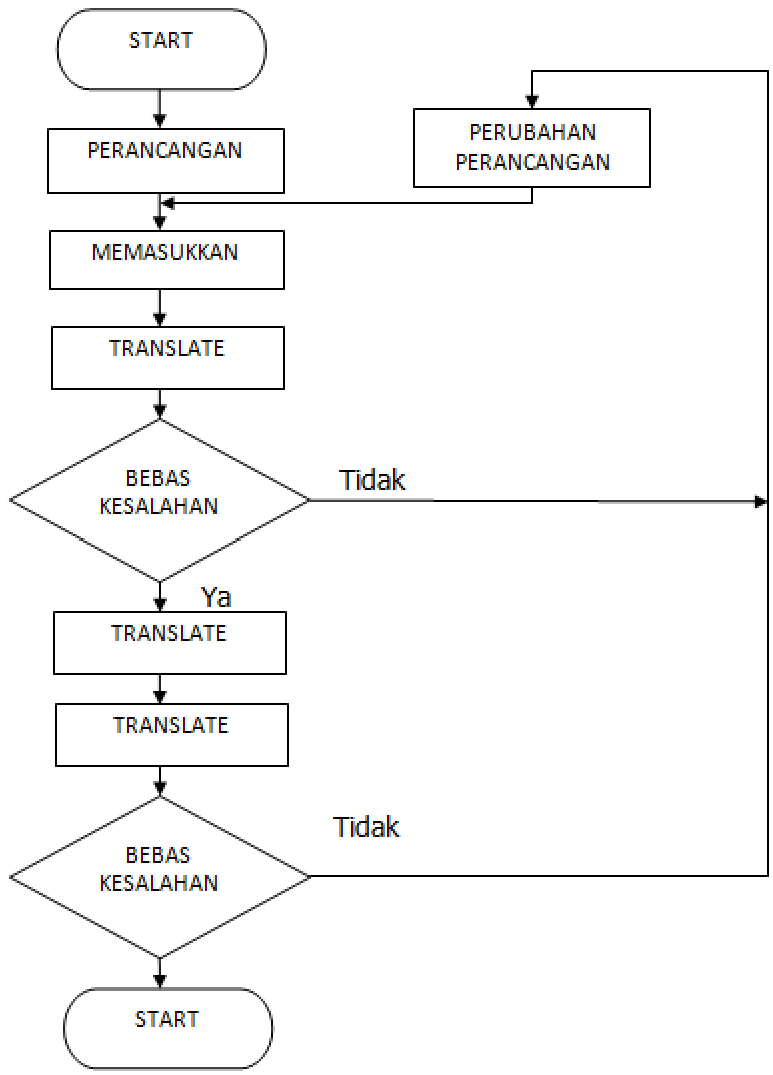
Untuk mencegah kesalahan pada saat perakitan, penyambungan dan pengkabelan dikerjakan dengan melaksanakan suatu rangkaian yang tetap dan tidak berubah-ubah. Satu kemungkinan, untuk menghubungkan tabung dengan bagian daya pneumatik yang diawali dari catu daya listrik melalui katup-katup silinder tersebut.

Apabila PLC digunakan, maka rangkaian gerakan dari suatu penggerak pneumatik ditentukan oleh program. Dasar untuk mengembangkan program PLC yang baik dengan diagram fungsi. Pengembangan program dapat dilaksanakan secara bersamaan dengan pengujian sisten kontrol.

Pada komputer atau unit programming yang dapat digunakan sebagai alat untuk mengembangkan program. Prosedurnya terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- Rancangan program.
- Memasukkan program ke dalam komputer atau unit programming.
- Menterjemahkan program.
- Menguji program.

Kesalahan program akan terungkap dalam translasi atau selama pengujian harus diperbaiki. Langkah-langkah pengembangan program berikut ini harus dijalankan. Proses ini harus diulang sampai semua kesalahan dapat dideteksi sehingga berkurang (gambar 5-7).



Gambar 5-7. Prosedur pemrograman PLC.

Rangkuman

Sistem kontrol elektropneumatik dikembangkan secara individu dan dirancang khusus untuk suatu proyek tertentu. Pengembangan dari sistem kontrol ini meliputi :

- Perancangan proyek (persiapan rencana dan dokumen yang diperlukan).
- Pemilihan dan konfigurasi perlengkapan kelistrikan dan pneumatik.
- Implementasi (dalam pembuatan dan uji coba serah terima).

Implementasi sistem kontrol elektropneumatik, mensyaratkan :

- Memperoleh semua komponen yang diperlukan.
- Memasang sistem kontrol.
- Memprogram/Programming (apabila menggunakan PLC).
- Uji coba serah terima sistem kontrol.

Item-item berikut ini harus diperoleh sebelum memasang sistem kontrol tersebut :

- Diagram rangkaian lengkap dan diagram terminal.
- Semua komponen kelistrikan dan pneumatik sesuai dengan yang tercantum pada daftar suku cadang.

Lembar Kerja

Tugas Praktek Aplikasi Kontrol Elektropneumatik

Nama Siswa :	Tanggal :

Judul :

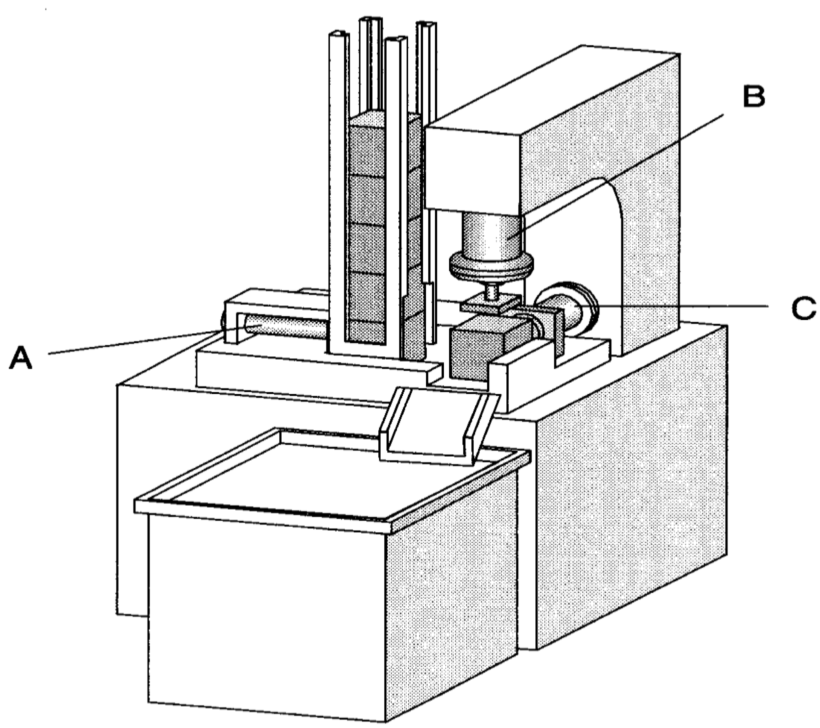
Stamping Machine

Tujuan :

Mengkoordinasikan kontrol gerakan dengan kondisi *auxiliary*

Uraian masalah :

Mesin stemping yang dilengkapi dengan tiga buah silinder pneumatik diharapkan cara kerjanya adalah sebagai berikut : Benda kerja yang akan distemping telah disusun pada tempatnya (lihat gambar di bawah) dan dapat turun oleh beratnya sendiri. Silinder A mendorong benda kerja dan sekali gus menjepit (clamping). Pada saat itu silinder B melakukan stemping. Selesai stemping silinder A mundur dan kemudian silinder C mendorong benda kerja keluar.

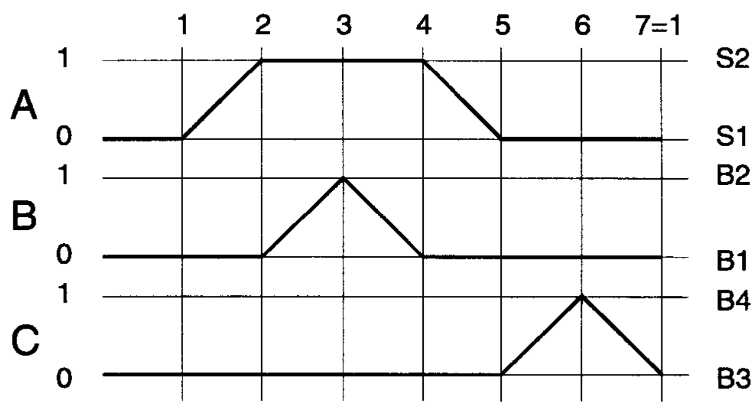


Tugas :

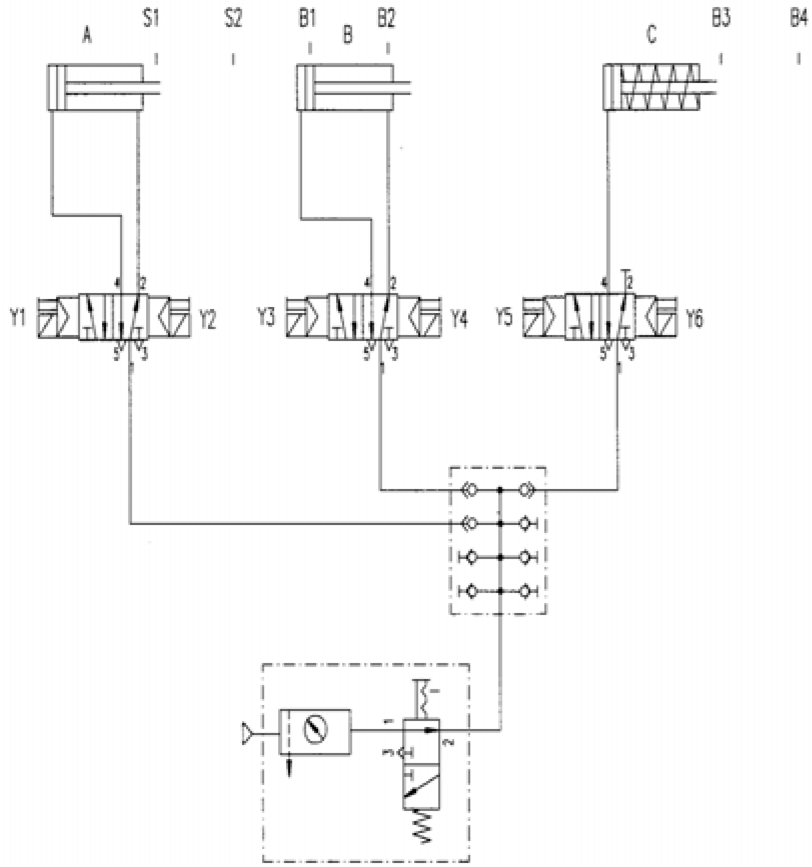
- Gambarkan diagram langkah pemindahan (*displacement-step*).
- Gambarkan diagram pneumatic dan rangkaian listrik.
- Analisis cara kerja aplikasi elektro pneumatik tersebut.
- Cantumkan komponen-komponen yang dibutuhkan dalam daftar.
- Rakitlah aplikasi tersebut pada profile plate.
- Operasikan aplikasi tersebut dan analisis apakah sudah sesuai dengan perancangan.
- Setelah selesai desmantle (bongkar) aplikasi tersebut dan bereskan denganbenar semua alat dan komponennya.

Penyelesaian :

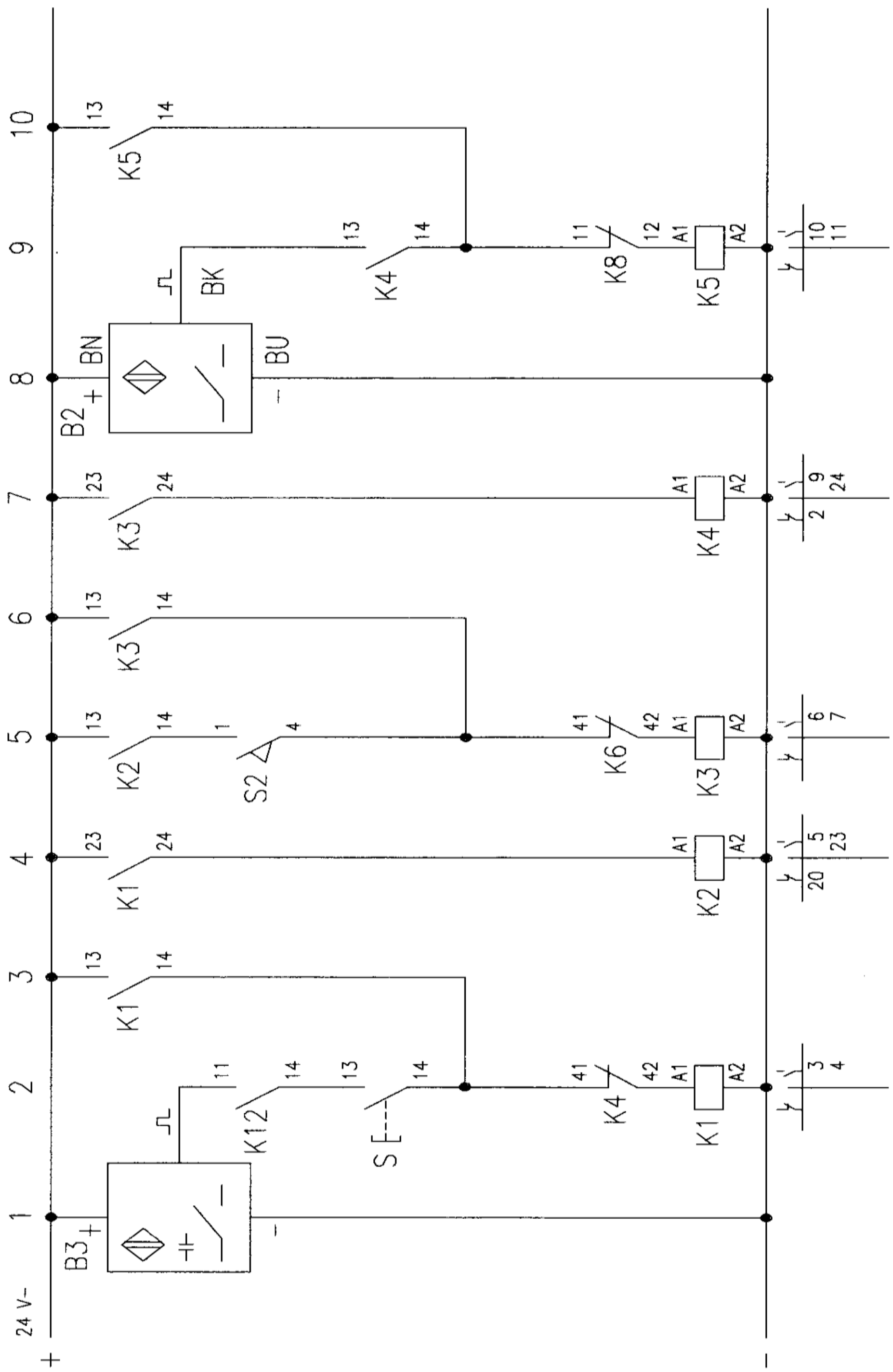
1. **Diagram step pemindahan dan diagram pneumatic :**

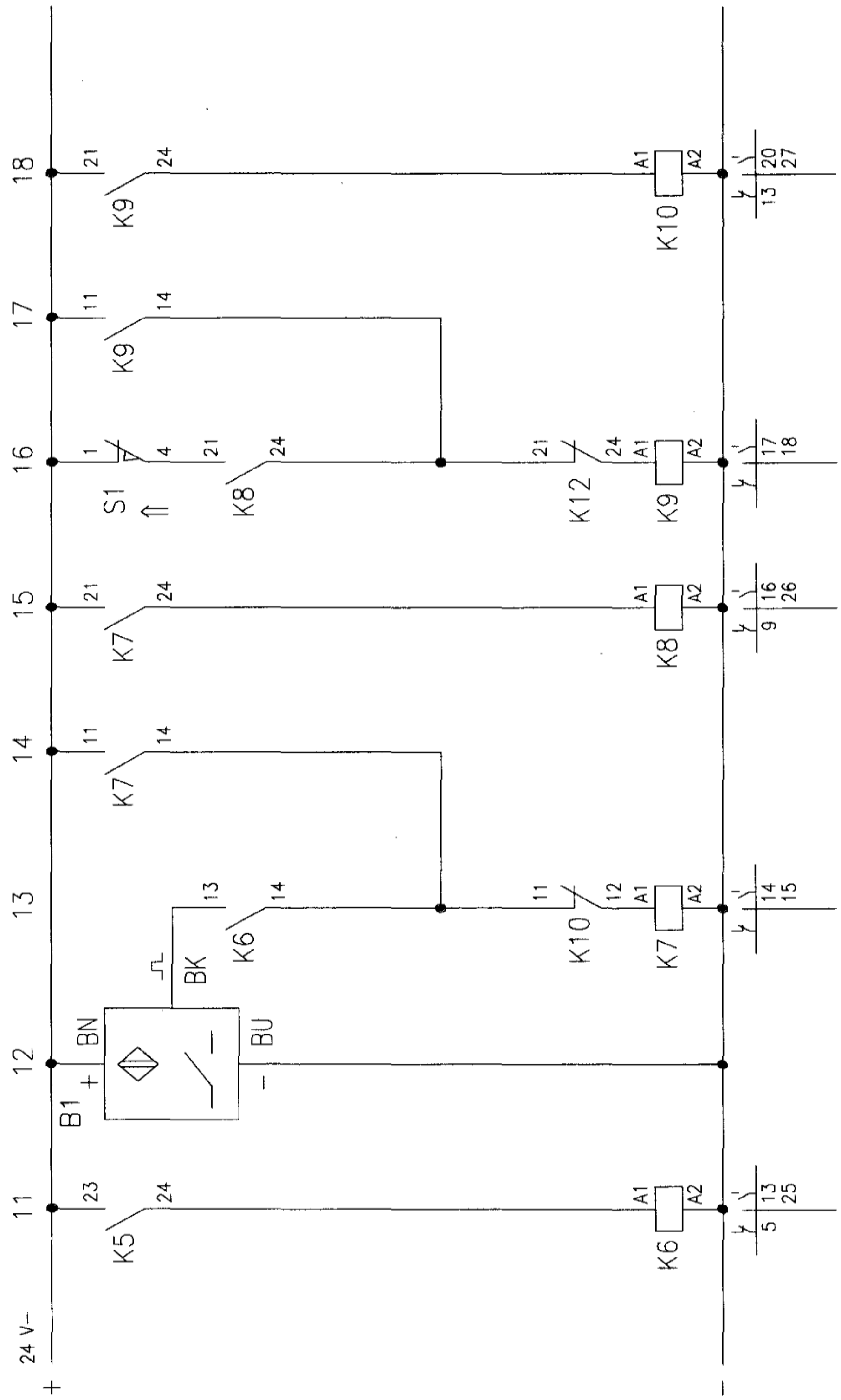


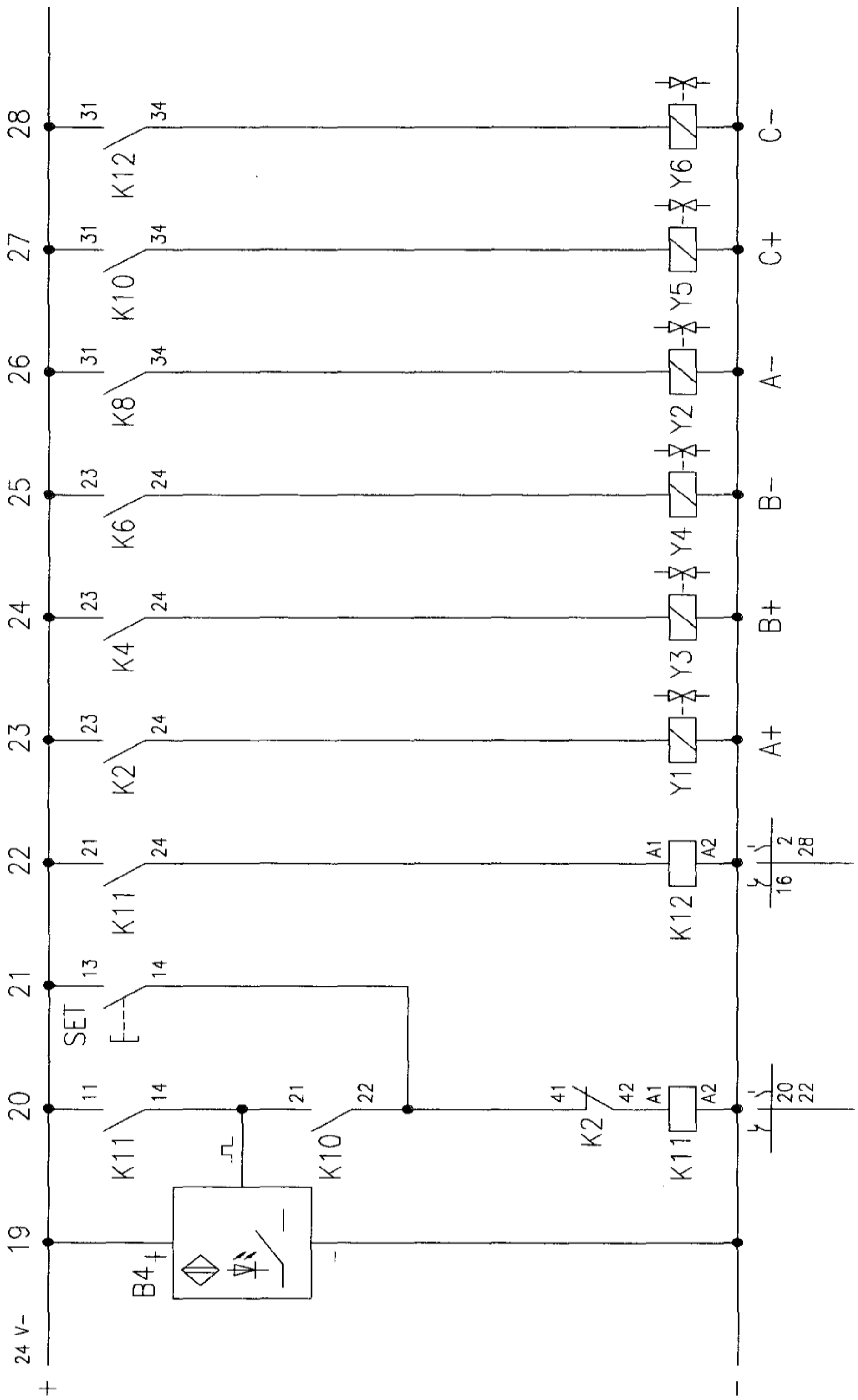
2. Desain rangkaian pneumatik :



3. Desain rangkaian kelistrikan :




+
24 V–
11
12
13
14
15
16
17
18
K5
B1
BN
BU
BK
S1
K6
K7
K8
K9
K10
K12


24 V–
+
–
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
B4
K11
K10
K2
SET
K12
K6
K8
Y1
Y3
Y4
Y2
Y5
Y6
A+
B+
B–
A–
C+
C–

4. Jumlah dan jenis komponen :

4	Relay, 3-off
1	Signal input plate, electrical
1	Indicator/distributor plate, electrical
1	Single-acting cylinder
2	Double-acting cylinder
1	On/off valve with filter regulator
1	Manifold
1	Proximity sensor, capacitive
1	Proximity sensor, optical
2	Proximity sensor with cylinder mounting
1	Limit switch, electrical, actuation from the left
1	Limit switch, electrical, actuation from the right
3	5/2-way double solenoid valve

Umpan Balik dan Tindak Lanjut

✓ Umpan Balik

Sudahkah anda mampu:

- Mengembangkan sistem kontrol elektropnumatik
- Mengaplikasikan kontrol elektropnumatik

✓ Tindak Lanjut

Siswa dapat mendesain dan merakit sistem kontrol untuk keperluan industri khususnya pada proses produksi/manufaktur (Industrial Control).

BAB III

P E N U T U P

Buku Pembelajaran ini menggunakan Sistem Pembelajaran Berbasis Kompetensi. Pembelajaran Berbasis Kompetensi adalah pembelajaran yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan dan sikap yang diperlukan di tempat kerja agar dapat melakukan pekerjaan dengan kompeten. Penekanan utamanya adalah tentang apa yang dapat dilakukan seseorang setelah melakukan serangkaian proses pembelajaran. Salah satu karakteristik yang paling penting dari pembelajaran berbasis kompetensi adalah penguasaan individu secara nyata di tempat kerja. Dalam Sistem pembelajaran Berbasis Kompetensi, fokusnya kepada pencapaian kompetensi (*competency based*) dan bukan kepada pencapaian atau pemenuhan waktu tertentu (*time based*). Dengan demikian maka dimungkinkan setiap siswa memerlukan atau menggunakan waktu yang berbeda-beda dalam mencapai suatu kompetensi tertentu, dengan bimbingan gurunya.

Jika siswa belum mencapai kompetensi pada usaha atau kesempatan pertama, maka pengajar akan mengatur rencana pembelajaran dengan peserta. Rencana ini memberikan kesempatan kembali kepada peserta untuk menguasai level kompetensinya sesuai dengan level yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

Bishop, Robert H., The Mechatronics Handbook, CRC PRESS, USA, 2002

Bolton, W., Mechatronics, Electronic control systems in mechanical Engineering, Longman Scientific & Technical.

Bambang Mulyanto. Modul Rangkaian Rangkaian dasar Pneumatik, Kendal

Carl Hamacher, cs., Organisasi Komputer, Edisi 5, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2002

Hugh Jack, Automating Manufacturing System with PLC, version 5.0, 2007

Pneumatik 1 dan 2, **Indonesia Australia Partnership for Skills Development AusAID**

Petruzella, Frank D., Industrial Electronics, McGRAW-HILL International Editions, 1996

……, Fundamental of Mechatronics, Festo Didactics

……, Pneumatic System, Festo Didactics